



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학박사 학위논문

차로별 통행특성을 고려한 고속도로의 통행시간 및
지체추정 모형구축에 관한 연구

Predictive Models Of Travel Time And Delay In
Expressways By Lane Travel Characteristics



지도교수 김 태 곤

2016년 2월

한국해양대학교 대학원

토목환경공학과

허 인 석

공학박사 학위논문

차로별 통행특성을 고려한 고속도로의 통행시간 및
지체추정 모형구축에 관한 연구

Predictive Models Of Travel Time And Delay In
Expressways By Lane Travel Characteristics



지도교수 김 태 곤

2016년 2월

한국해양대학교 대학원

토목환경공학과 허 인 석

本 論文을 許仁碩의 工學博士 學位論文으로 認准함.

위원장 이 중 우



위 원 김 도 삼



위 원 경 갑 수



위 원 신 강 원



위 원 김 태 곤



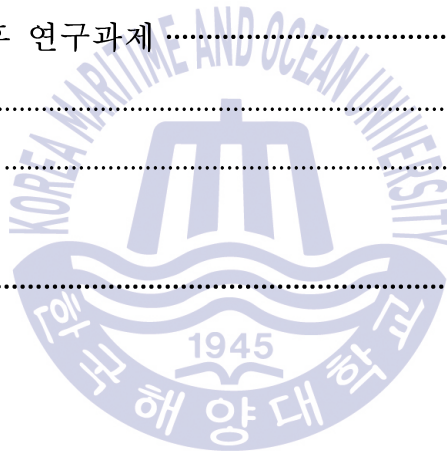
2015년 12월 19일

한국해양대학교 대학원

목 차

목 차	i
Nomenclature	iii
List of Tables	v
List of Figures	vii
Abstract	x
1 장 서 론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 목적	3
1.3 연구 수행과정	4
2 장 문헌 및 사례연구	5
2.1 국외 문헌연구	5
2.2 국내 문헌연구	10
3 장 자료수집 및 분석	14
3.1 자료 수집	14
3.2 자료 분석	16
3.2.1 교통량 분석	17
3.2.2 속도 분석	27
3.2.3 점유율 분석	37
3.2.4 통행시간 및 지체분석	47

4 장	통행특성의 상관관계분석	64
4.1	상관관계분석의 개념	64
4.2	차로별 속도(U_i)와 통행시간(T)의 상관관계분석	64
4.3	차로별 지체(D_i)와 평균지체(D)의 상관관계분석	69
5 장	모형 구축 및 검증	75
5.1	모형 구축	75
5.2	모형 검증	87
6 장	결론 및 향후 연구과제	99
6.1	결론	99
6.2	향후 연구과제	101
참 고 문 헌	102



Nomenclature

Q	Flow rate for 1hour(veh/h/l)
N	No. of vehicles observed for unit time(veh)
t	Unit time(1hour)
t_{hi}	Time headway of each vehicle i (sec)
q_i	Each vehicle i (veh)
U	Space mean speed(km/h)
N_i	No. of vehicles observed at station i (veh)
n	No. of stations within a unit segment
u_i	Spot mean speed observed at station i (km/h)
O	Mean occupancy(%)
$(t_o)_i$	Time that detector is occupied by i -th vehicle(sec)
T	Mean travel time taken by a vehicle to traverse a unit segment of a highway(sec)
T_{85}	Mean travel time taken by a vehicle to traverse a unit segment of a highway by 85 th percentile speed(sec)
U_{85}	85 th percentile speed at a unit segment(km/h)
D	Difference between actual travel time and ideal travel time at a unit segment(sec)
L	Distance of unit segment(1km)
r	Correlation coefficients for paired samples
S_{U_iT}	Covariance of U_i and T for paired samples
S_{U_i}	Standard deviation of U_i for paired samples
S_T	Standard deviation of T for paired samples
U_{ij}	Actual travel speed at i -th lane and j -th hour(km/h)

T_j	Ideal travel time by 85 th percentile speed at j -th hour(%)
m	No. of paired samples
$S_{D_i D}$	Covariance of D_i and D for paired samples
S_{D_i}	Standard deviation of D_i for paired samples
S_D	Standard deviation of D for paired samples
D_{ij}	Difference between actual travel time and ideal travel time by 85 th percentile speed at i -th lane and j -th hour (km/h)
D_j	Difference between actual travel time and ideal travel time by 85 th percentile speed at j -th hour(%)
D_i	Difference between actual travel time and ideal travel time by 85 th percentile speed of each lane i at a unit segment(sec)
β_j	Regression coefficients($j=0, 1, 2$)
T_{cal}	Mean travel time calculated(sec)
T_{pre}	Mean travel time predicted(sec)
t_s	t statistic of matched paired samples
s_{Tdl}	Standard deviation of difference in T_{cal} and T_{pre} (sec)
$\overline{d_T}$	Mean of difference in T_{cal} and T_{pre} (sec)
d_{T_i}	Difference in i -th T_{cal} and T_{pre} (sec)
D_{cal}	Mean delay calculated(sec)
D_{pre}	Mean delay predicted(sec)
t_s	t statistic of matched paired samples
s_{Dl}	Standard deviation of difference in D_{cal} and D_{pre} (sec)
$\overline{d_D}$	Mean of difference in D_{cal} and D_{pre} (sec)
d_{D_i}	Difference in i -th D_{cal} and D_{pre} (sec)

List of Tables

Table 2. 1 Results of studies on the value of travel time and delay reduction(SHRP2, 2014)	8
Table 3. 1(a) Geometry of expressways under the study	15
Table 3. 1(b) Travel characteristics of expressways under the study	15
Table 3. 2 Stations selected for analyses in EX-1(unit: km)	15
Table 3. 3 Stations selected for analyses in EX-10(unit: km)	16
Table 3. 4 Flow analysis in EX-1(veh/h/l, %)	21
Table 3. 5 Flow analysis by lane in EX-1(veh/h/l)	21
Table 3. 6 Flow analysis in EX-10(veh/h/l, %)	24
Table 3. 7 Flow analysis by lane in EX-10(veh/h/l)	24
Table 3. 8 Speed analysis in EX-1(km/h, %)	31
Table 3. 9 Speed analysis by lane in EX-1(km/h)	31
Table 3.10 Speed analysis in EX-10(km/h, %)	34
Table 3.11 Speed analysis by lane in EX-10(km/h)	34
Table 3.12 Occupancy analysis in EX-1(%, %)	41
Table 3.13 Occupancy analysis by lane in EX-1(%)	41
Table 3.14 Occupancy analysis in EX-10(%, %)	44
Table 3.15 Occupancy analysis by lane in EX-10(%)	44
Table 3.16 Travel time and delay analyses in EX-1(sec, %)	51
Table 3.17 Travel time and delay analyses by lane in EX-1(sec)	52
Table 3.18 Travel time and delay analyses in EX-10(sec, %)	58
Table 3.19 Travel time and delay analyses by lane in EX-10(sec)	58
Table 4. 1 Correlation analysis between U_i and T in EX-1 and EX-10	67
Table 4. 2 Correlation analysis between D_i and D in EX-1 and EX-10	72
Table 5. 1 Travel time and delay models in EX-1	78

Table 5. 2	Travel time and delay models in EX-10	82
Table 5. 3	Correlation analysis of travel time and delay models in EX-1 ..	90
Table 5. 4	t-Test results of travel time and delay models in EX-1	90
Table 5. 5	Correlation analysis of travel time and delay models in EX-10	94
Table 5. 6	t-Test results of travel time and delay models in EX-10	95



List of Figures

Figure 1. 1	Expressways under the study	2
Figure 1. 2	Basic segment of expressways under the study	3
Figure 1. 3	Process of study	4
Figure 2. 1	Running time and stopped delay time(FHWA, 1998)	5
Figure 2. 2	Typical example of travel time distribution curve used to estimate delay and reliability(SHRP2, 2014)	7
Figure 3. 1	Expressway segments under the study	16
Figure 3. 2	3D Flow graph by lane in EX-1(NB)	18
Figure 3. 3	3D Flow graph by lane in EX-1(SB)	18
Figure 3. 4	3D Flow graph by lane in EX-10(EB)	19
Figure 3. 5	3D Flow graph by lane in EX-10(WB)	19
Figure 3. 6	Flow distribution in EX-1(NB)	22
Figure 3. 7	Flow distribution in EX-1(SB)	22
Figure 3. 8	Flow distribution in EX-10(EB)	25
Figure 3. 9	Flow distribution in EX-10(WB)	25
Figure 3.10	3D Speed graph by lane in EX-1(NB)	28
Figure 3.11	3D Speed graph by lane in EX-1(SB)	28
Figure 3.12	3D Speed graph by lane in EX-10(EB)	29
Figure 3.13	3D Speed graph by lane in EX-10(WB)	29
Figure 3.14	Speed distribution in EX-1(NB)	32
Figure 3.15	Speed distribution in EX-1(SB)	32
Figure 3.16	Speed distribution in EX-10(EB)	35
Figure 3.17	Speed distribution in EX-10(WB)	35
Figure 3.18	Flow-speed relationship on designated lanes of EX-1 and EX-10	36
Figure 3.19	3D Occupancy graph by lane in EX-1(NB)	38
Figure 3.20	3D Occupancy graph by lane in EX-1(SB)	38

Figure 3.21	3D Occupancy graph by lane in EX-10(EB)	39
Figure 3.22	3D Occupancy graph by lane in EX-10(WB)	39
Figure 3.23	Occupancy distribution in EX-1(NB)	42
Figure 3.24	Occupancy distribution in EX-1(SB)	42
Figure 3.25	Occupancy distribution in EX-10(EB)	45
Figure 3.26	Occupancy distribution in EX-10(WB)	45
Figure 3.27	3D travel time graph in EX-1	48
Figure 3.28	3D travel time graph in EX-10	49
Figure 3.29	3D delay graph in EX-1	49
Figure 3.30	3D delay time graph in EX-10	50
Figure 3.31	Travel time distribution in EX-1(NB)	53
Figure 3.32	Travel time distribution in EX-1(SB)	53
Figure 3.33	Delay distribution in EX-1(NB)	54
Figure 3.34	Delay distribution in EX-1(SB)	54
Figure 3.35	Travel time and delay variation by lane in EX-1(NB)	55
Figure 3.36	Travel time and delay variation by lane in EX-1(SB)	56
Figure 3.37	Travel time distribution in EX-10(EB)	59
Figure 3.38	Travel time distribution in EX-10(WB)	59
Figure 3.39	Delay distribution in EX-10(EB)	60
Figure 3.40	Delay distribution in EX-10(WB)	60
Figure 3.41	Travel time and delay variation by lane in EX-10(EB)	61
Figure 3.42	Travel time and delay variation by lane in EX-10(WB)	62
Figure 3.43	Travel time and delay distributions in EX-1 and EX-10	63
Figure 4. 1	Correlation between U_i and T in EX-1(NB)	67
Figure 4. 2	Correlation between U_i and T in EX-1(SB)	68
Figure 4. 3	Correlation between U_i and T in EX-10(EB)	68
Figure 4. 4	Correlation between U_i and T in EX-10(WB)	69
Figure 4. 5	Correlation between D_i and D in EX-1(NB)	72
Figure 4. 6	Correlation between D_i and D in EX-1(SB)	73

Figure 4. 7	Correlation between D_i and D in EX-10(EB)	73
Figure 4. 8	Correlation between D_i and D in EX-10(WB)	74
Figure 5. 1	T Model in EX-1(NB)	79
Figure 5. 2	T Model in EX-1(SB)	79
Figure 5. 3	T Model in EX-1	80
Figure 5. 4	D Model in EX-1(NB)	80
Figure 5. 5	D Model in EX-1(SB)	81
Figure 5. 6	D Model in EX-1	81
Figure 5. 7	T Model in EX-10(EB)	83
Figure 5. 8	T Model in EX-10(WB)	83
Figure 5. 9	T Model in EX-10	84
Figure 5.10	D Model in EX-10(EB)	84
Figure 5.11	D Model in EX-10(WB)	85
Figure 5.12	D Model in EX-10	85
Figure 5.13	Verification of T model in EX-1(NB)	91
Figure 5.14	Verification of T model in EX-1(SB)	91
Figure 5.15	Verification of T model in EX-1	92
Figure 5.16	Verification of D model in EX-1(NB)	92
Figure 5.17	Verification of D model in EX-1(SB)	93
Figure 5.18	Verification of D model in EX-1	93
Figure 5.19	Verification of T model in EX-10(EB)	95
Figure 5.20	Verification of T model in EX-10(WB)	96
Figure 5.21	Verification of T model in EX-10	96
Figure 5.22	Verification of D model in EX-10(EB)	97
Figure 5.23	Verification of D model in EX-10(WB)	97
Figure 5.24	Verification of D model in EX-10	98

Predictive Models Of Travel Time And Delay In Expressways By Lane Travel Characteristics

In Seok Heo

*Department of Civil and Environmental Engineering,
Graduate School, Korea Maritime and Ocean University, Busan Korea*

Abstract

Expressway was firstly opened between Seoul and Incheon at the end of the 1960's, and 32 routes of expressway have been constructed in Korea since then. Particularly, Gyeongbu and Namhae expressways were built for transporting the import and export cargoes through the port of Busan in the early 1970s. Passenger cars were sharply increased with the rapid economic leap after the Seoul Olympics in 1988, and expressways were steadily constructed between the metropolitan and local areas. Most expressways are however suffering from transportation problems with increased automobiles and high proportions of heavy vehicles, because urban development were accelerated with the population concentration on the urban areas. Thus, it is strongly needed to study the travel characteristics for improving traffic management system in expressways operated by the designated lane system.

The purpose of this study is to identify the lane travel characteristics at the 8-lane basic segments of Gyeongbu and Namhae expressways, analyze correlative characteristics between lane-based travel characteristics at the basic expressway segments, and finally construct the most appropriate predictive models of mean travel time and delay in expressways.

From the travel characteristic analysis, correlation analysis between the lane-based travel characteristics, and modeling of mean travel time and delay in expressways, the following conclusions were drawn:

i) Traffic analyses appeared to show a distinct difference in travel characteristics by the direction, the lane, the day of the week and the time of day. So, we concluded that the freeway traffic management system(FTMS) such as advanced traveler management systems/advanced traveler information systems(ATMS/ATIS) by the direction, the lane, the day of the week and the time of day could be very effective in improving the effectiveness of expressways operated by the designated lane system.

ii) Correlation analyses appeared to show a high correlation between the lane-based segment mean speed and mean travel time, and also the lane-based delay and mean delay. So, we concluded that the segment mean speeds at the 2nd and 3rd lanes could have the highest correlation with the mean travel time, and also the delay at the 3rd lane had the highest one with the mean delay regardless of the direction in expressways operated by the designated lane system.

iii) Regression models appeared to show the highest validity between the predicted mean travel time and the calculated one, and between the predicted mean delay and the calculated one. So, we concluded that multiple linear function by the segment mean speeds at the 2nd and 3rd lanes could be more effective in predicting the mean travel time and simple linear one by the 3rd lane delay could be more effective with the high explanatory power and validity at the 95 percent confidence level.

1장 서론

이 장에서는 지정차로제가 시행중인 국내 고속도로의 차량 통행특성에 관한 연구배경, 연구목적 및 연구수행과정에 대해서 기술한다.

1.1 연구 배경

국내에서는 지난 1960년대 말 처음으로 서울과 인천사이에 경인고속도로가 개통된 이후 지금까지 총 32개 노선의 고속도로가 건설됨으로써 지역과 지역 사이에 인적 왕래 및 물적 교류를 증대시켜왔다. 특히, 국내에서는 1970년대 초부터 경부고속도로와 남해고속도로를 포함하여 주요 거점지역을 중심으로 고속도로가 건설됨으로써 수출입화물의 주요 수송로로서 국가경제성장에 막대한 기여를 해왔고, 1980년대 말 서울 올림픽이후 급격한 경제도약과 인구의 도시 집중으로 도시개발은 점차 확대되었으며, 국민소득의 증가와 활동영역의 확대로 차량수요가 급증함으로써 고속도로에 대한 지속적인 통행수요 증가와 함께 여러 가지 교통문제를 야기하게 되었다. 그런데 이러한 고속도로 중에서 경부고속도로는 서울과 부산사이에 건설되어 수도권역과 주요 연계 거점지역에서 발생하는 통행량으로 교통문제가 날로 심화되고 있고, 또한 남해고속도로는 부산과 광양사이에 건설되어 동남권역과 서남권역사이의 주요 연계 거점지역에서 발생하는 통행량으로 역시 교통문제가 가중되고 있다.

그러나 이러한 고속도로의 교통문제를 해결하기 위해서는 새로운 고속도로 건설이나 시설확충이 필요하지만, 새로운 고속도로 건설이나 시설확충에는 막대한 예산과 오랜 시간이 요구되기 때문에 단 기간 내에 교통문제를 해결하는데에는 한계가 있다. 그리고 새로운 고속도로 건설이나 시설확충에 따른 충분한 가용토지의 확보문제와 함께 시설공급에 비해 고속도로 이용차량의 급속한 증가로 인하여 교통문제가 한층 더 심화되기 때문에 재정여건이 허용되는 범위 내에서 새로운 고속도로 건설이나 시설확충과 더불어 기존 고속도로에 대한 통

행특성연구를 통해 고속도로의 관리체계를 개선하는 방안을 모색할 필요성이 날로 증가되고 있는 상황이다.

그리하여 이 연구에서는 국내 고속도로가 선진외국과 달리 지정차로제가 시행됨으로써 차로별 차종 혼재가 많고 더구나 추월차로의 차량주행이 금지됨으로써 지체와 사고의 발생가능성을 더욱 증대되고 있기 때문에 국내 고속도로 중 대표적인 경부고속도로와 남해고속도로의 아래의 Figure 1.1에서 보여주는 양방향 8차로구간을 대상으로 차로별 통행특성을 분석하고, 차로별 통행특성에 대한 상관분석 결과를 통해 고속도로의 통행시간 및 지체를 추정할 수 있는 모형을 검토함으로써 향후 고속도로의 교통관리체계(freeway traffic management system, FTMS) 연구에 조금이나마 기여하고자 한다.

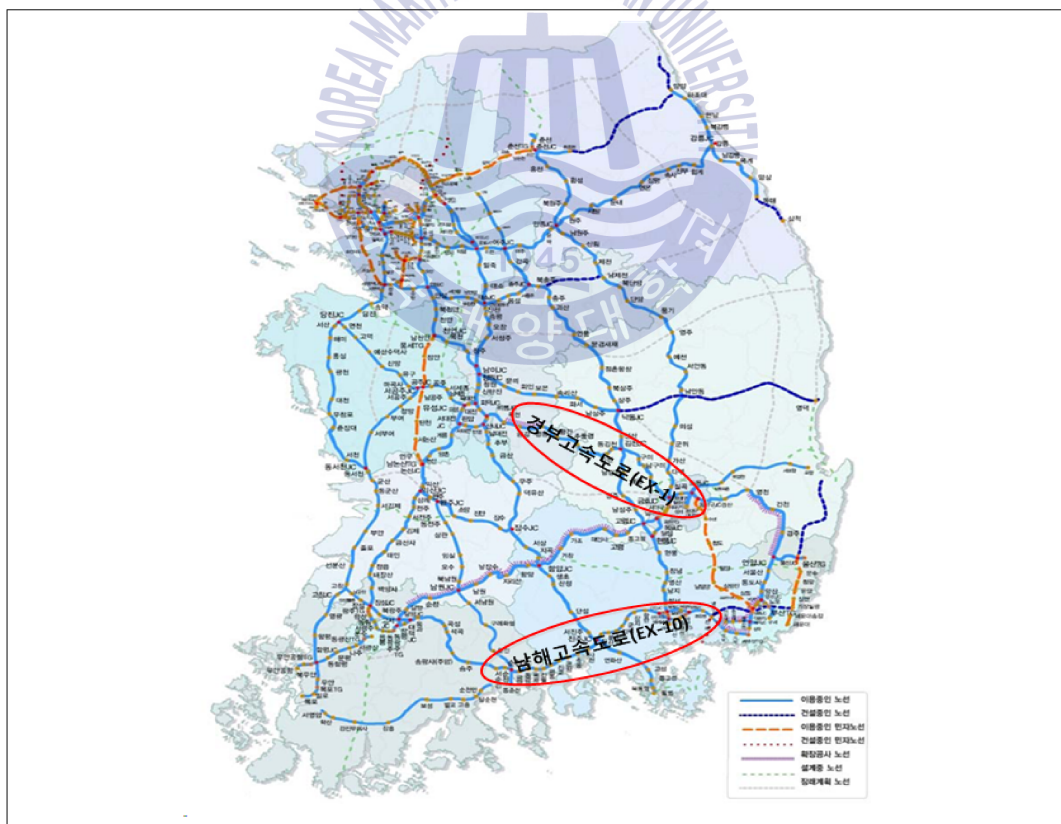


Figure 1.1 Expressways under the study

1.2 연구 목적

국내에서 고속도로(Expressways)란 설계속도 80km/h이상인 양방향 4차로 이상의 자동차 전용도로로서 중앙분리대가 설치되어 있고, 이용차량은 반드시 연결로를 통해서 본선으로 출입할 수 있도록 출입이 완전히 통제된 고속화도로(freeway)를 의미한다(국토해양부, 2012). 이러한 고속화도로 중에서 경부고속도로는 남북방향의 주요 거점지역을 거쳐 부산항으로 통하는 수출입화물 수송로이고, 남해고속도로 역시 동서방향의 주요 거점지역을 거쳐 광양항과 부산항으로 통하는 수출입화물 수송로로서 통행량이 집중하면서 교통문제가 종종 발생하고 있다.

그리하여 이 연구에서는 아래의 Figure 1.2에서 보여주듯이 지정차로제가 시행중인 연구대상 고속도로의 양방향 8차로구간으로부터 차로별 차량검지체계(vehicle detection system, VDS)자료(교통량, 속도, 점유율 등)를 수집하고, 차로별 VDS자료에 의한 통행시간 및 지체를 비교 분석하며, 차로별 통행특성의 상관분석결과를 토대로 설명력과 유의성이 높은 통행시간 및 지체추정모형을 구축 제시하는데 목적이 있다.

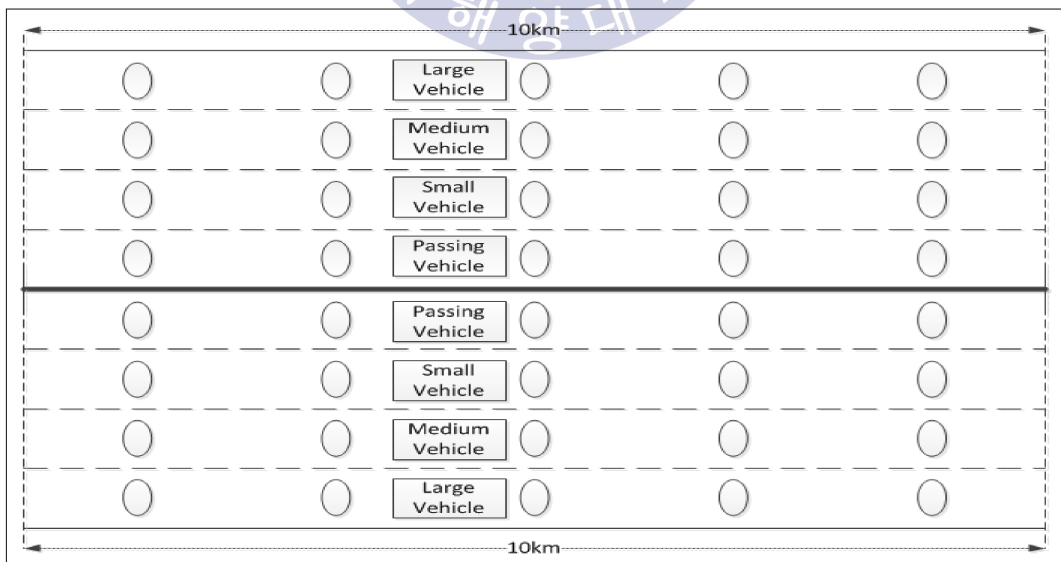


Figure 1.2 Basic segment of expressways under the study

1.3 연구 수행과정

이 연구가 위의 연구배경 및 연구목적을 중심으로 기대되는 연구결과를 얻기 위해서는 아래의 Figure 1.3과 같은 단계적 연구수행과정을 필요로 한다.

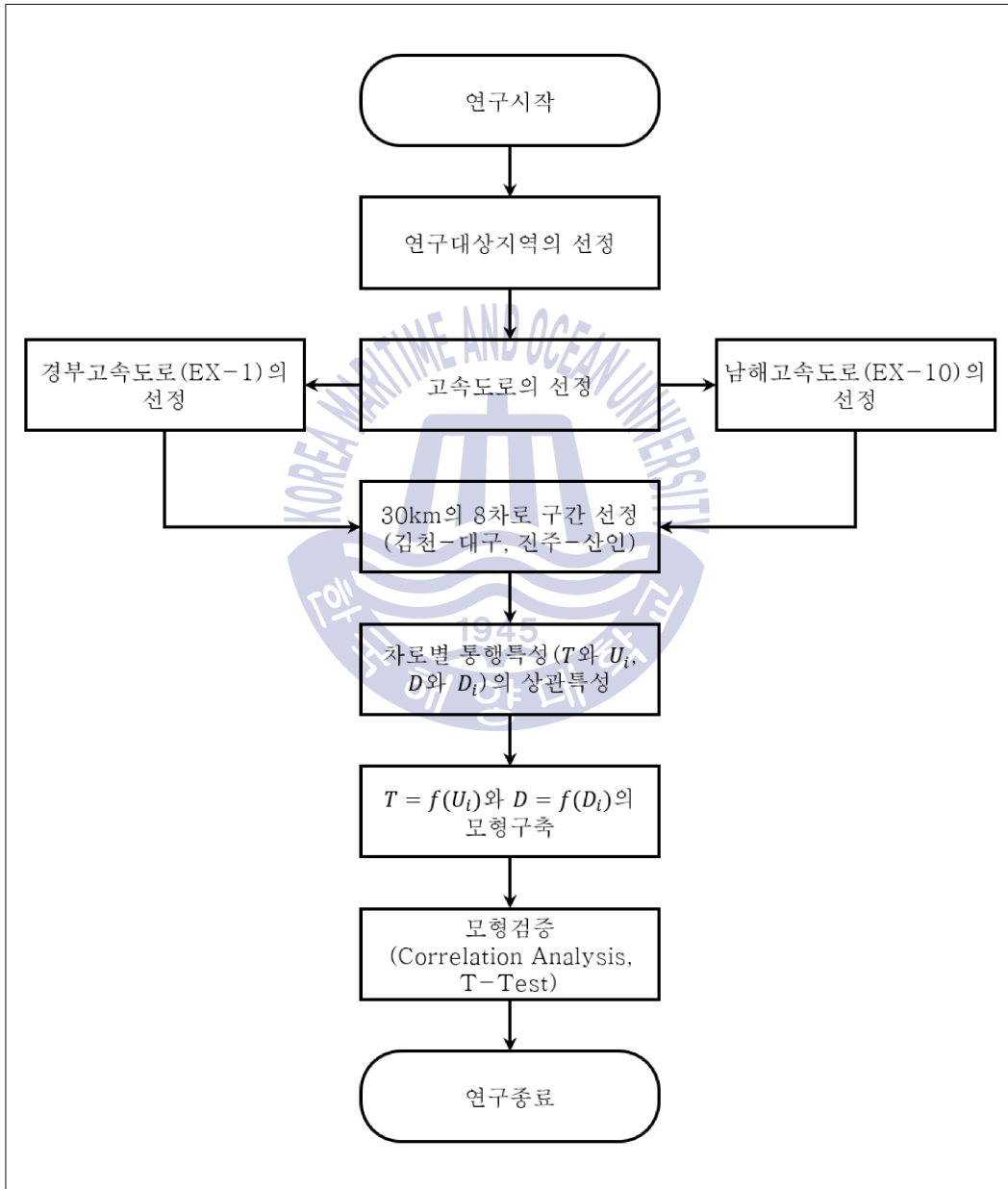


Figure 1.3 Process of study

2장 문헌 및 사례연구

이 장에서는 차량의 통행특성 중에서 통행시간 및 지체에 관하여 그동안의 국내외 관련 문헌들과 사례들에 대하여 기술한다.

2.1 국외 문헌연구

통행시간 및 지체와 관련하여 미국의 연방도로청(FHWA, 1998)에서는 “넓은 의미에서 통행시간이란 관심 있는 2지점 사이의 노선을 통과하는 데 필요한 시간이다. 이러한 통행시간은 관심 있는 2지점 이상의 노선을 통과하면서 아래의 Figure 2.1에서 보여주듯이 주행시간과 정지지체의 합으로 직접 관측할 수가 있다.

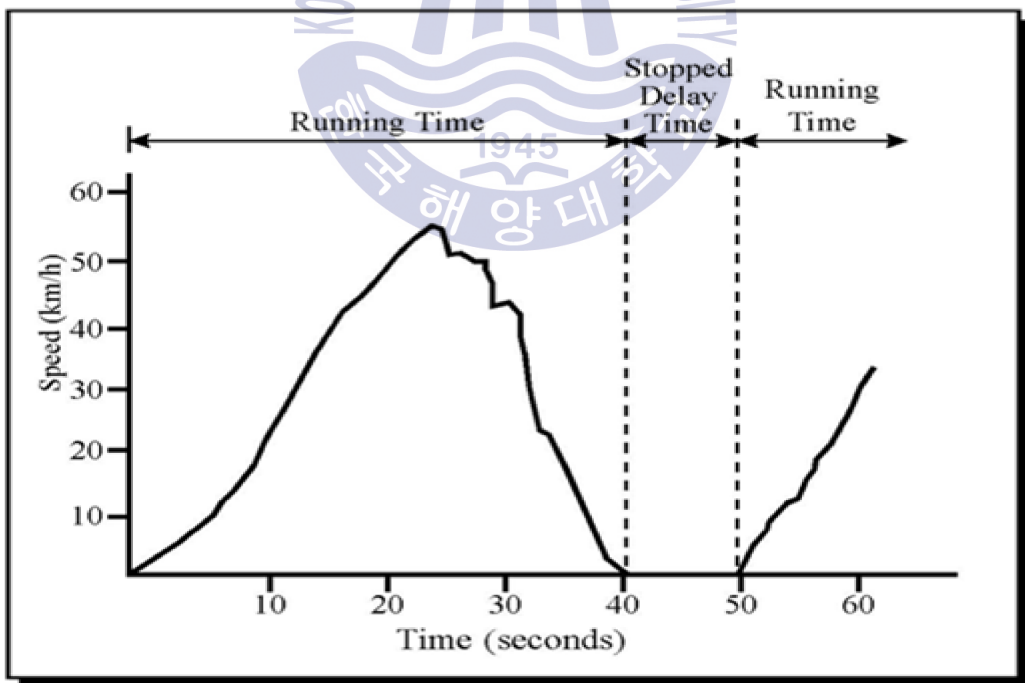


Figure 2.1 Running time and stopped delay time(FHWA, 1998)

여기에서 통행시간은 주행시간(running time)과 정지지체(stopped delay)로 구성된다고 할 수 있는데, 주행시간은 차량이 이동하는 시간을 의미하고, 정지지체는 차량이 정지해 있거나 8km/h이하의 낮은 속도로 이동하는 시간을 의미한다. 또한 0.8km/h이하의 짧은 도로구간 내 지점속도는 거의 균일하다고 가정하여 지점평균속도에 의해 통행시간을 추정할 수 있다. 대체적으로 짧은 도로구간에 대한 균일속도의 가정은 안정적인 통행상태를 보이는 연속류 교통시설인 고속도로에서 적용할 수가 있다. 이렇게 추정된 통행시간은 지점평균속도, 즉 시간평균속도와 도로구간길이를 이용하여 산정할 수가 있다.”라고 통행시간, 주행시간 및 정지지체의 개념 등에 대해서 상세하게 기술하고 있다.

미국의 도로연구협동프로그램(NCHRP, 2008)에서는 “성과척도(measures of performance)로서 통행시간, 지체 및 신뢰성 등 이러한 척도들은 종합적인 교통계획 과정상의 복잡한 자료요구, 자료의 정확도 및 절차상 문제로 인해 충분히 활용되지 못하고 있다. 이러한 성과척도가 널리 시행되지 않았던 이유 중의 하나는 많은 비용이 들고 성과척도를 생성하기가 쉽지 않았기 때문에 상대적으로 일부 대중교통부서에서만 프로그램을 활용한 분석 및 다양한 추정을 통하여 신뢰성 있는 성과척도 추정치를 도출하고 있다. 반면 대부분 주정부에서는 통행시간 관련 척도가 일부 간선도로에서 활용되고 있지만 보다 광범위한 자료수집을 위해서는 많은 비용이 소요되기 때문에 성과척도 도출을 위한 관련 프로그램 투자를 주저하고 있다. 최근에 대부분의 주정부와 대도시계획부서(metropolitan planning organization, MPO)에서는 통행시간, 지체 및 신뢰성 등의 성과척도를 개발하기 위해 루프 검지기자료와 지능형교통체계(intelligent transportation systems, ITS)나 교통관리체계(traffic management systems, TMS) 자료를 활용하고 있지만, 복잡하고 자료규모에서 제약이 있으며 많은 비용이 소요되기 때문에 상대적으로 활용이 쉬운 기존의 자료를 사용하여 통행시간의 성과척도를 생성할 수 있는 방법을 강구하게 되었다. 결과적으로 각 부서에서는 쉽게 활용이 가능한 기존 데이터 소스를 사용하여 통행시간의 성과척도

를 생성하기 위한 여러 가지 방법들을 강구하게 되었다.”라고 통행시간의 성과 척도 개발을 위한 자료수집의 제약과 생성방법에 대해서 서술하고 있다.

미국의 도로연구전략프로그램(SHRP2, 2014)에서는 “평균통행시간은 아래의 Figure 2.2에서 보여주듯이 보통수준의 운전자들에 대한 통행시간으로 나타내고 있고, 평균통행시간과 이상적인 통행시간 즉, 지체가 없는 통행시간과의 차이는 일상적인 상황 하에서 운전자들의 평균지체를 의미한다.

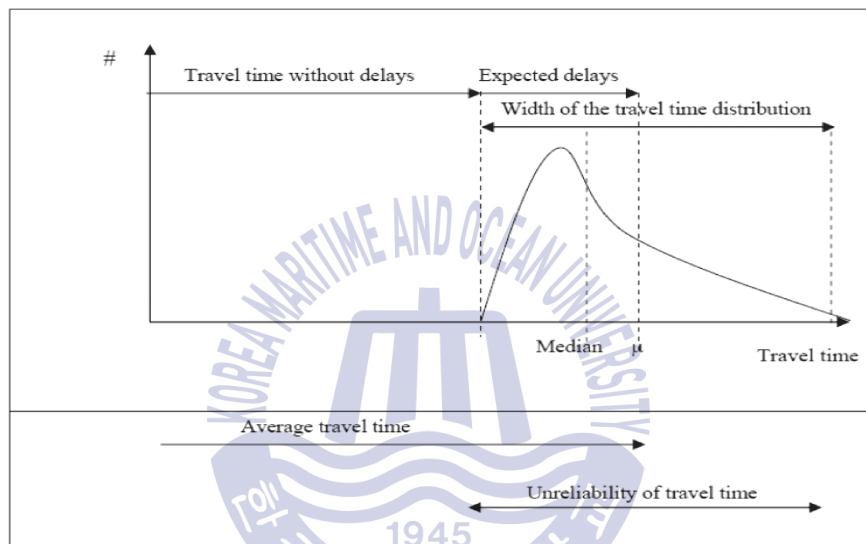


Figure 2.2 Typical example of travel time distribution curve used to estimate delay and reliability(SHRP2, 2014)

또한 교통과 관련된 비용-편익연구에서 통행시간과 지체감소의 가치는 통행행태에 따라 다르게 할당된 임금비율이라고 생각되고, 주요 통행행태는 직장통행과 그 외의 통행으로 구분할 수 있다. 특히, 직장통행은 직장에서 행해진 통행이고, 그 외의 통행은 직장통행보다 다소 낮은 비율의 가치이다. 통행시간의 가치는 아래의 Table 2.1에 요약되었듯이 사람에 따라 통행에 따라 다르기 때문에 주어진 도로구간의 통행시간 절감편익에 대한 간단한 가정을 세울 필요가 있다.”라고 통행시간과 지체의 개념 및 가치에 대해서 서술하고 있다.

Table 2.1 Results of studies on the value of travel time and delay reduction(SHRP2, 2014)

Study	Year	Data used	VOT estimated
Becker	1965		40% of wage rate
Beesley	1965	Data from survey of government employees in London, United Kingdom	31% to 50% of wage rate
Lisco	1967		20% to 51% of wage rate
Miller	1989	Survey of multiple route choice models	60% of gross wage (on average)
Small	1992	Values derived from multiple mode choice transportation models	20% to 100% of gross wage; 50%—reasonable average
Waters	1992	Travel data from British Columbia, Canada	50% to 100% average wage rate for personal travel, depending on LOS; 120% to 170% of average wage rate for commercial travel, depending on LOS
Waters	1996	Travel data from 15 commuting studies in North America	40% to 50% of after-tax wage rate (mean: 59% of after-tax wage rate; median: 42% of wage rate)
Calfee and Winston	1998	Data from National Family Opinion survey covering commuters from major U.S. metropolitan areas	14% to 26% of gross wage; 19% of wage—average estimate
Small and Yan	2001	Data on commute travelers on SR-91 in California	Average VOT is \$22.87/h, or 72% of sample wage rate
Brownstone and Small	2003	Travel data from ETC facilities in HOT lanes on SR-91 and I-15 in Southern California	VOT saved on the morning commute: \$20 to \$40 per hour, or 50% to 90% of average wage rate in the sample
U.S. DOT	2003	Estimates are based on multiple sources of data	50% to 120% of the wage rate depending on type of travel (personal versus business); 50% of wage rate for personal local travel; 100% of wage rate for commercial local travel
Small et al	2005	Travel from SR-91 in greater Los Angeles, Calif., area, collected over 10-month period in 1999 to 2000	Median VOT is \$21.46/h or 93% of average wage rate
Tseng et al	2005	Data collected in June 2004 for Dutch commuters who drive to work two or more times per week	Mean VOT for all travelers: 10 euros/h (approximately \$12.10/h)
Litman	2007	Results are drawn from multiple travel time studies	25% to 50% of prevailing wage (for personal travel)
Tilahun and Levinson	2007	Data from stated preference survey of travelers on I-394 in Minneapolis-St. Paul, Minn., area	\$10.62/h for MnPass (ETC system) subscribers who were early/on-time \$25.42/h for MnPass subscribers who were late \$13.63/h for nonsubscribers who were early/on-time \$10.10/h for nonsubscribers who were late

Note: VOT=value of time, LOS=level of service, ETC=electric toll collection, HOT=high-occupancy toll, DOT=department of transportation

미국의 Garber and Hoel(1988)은 “통행시간(travel time)이란 차량이 어느 주어진 도로구간을 통행하는데 소요되는 시간을 의미하고, 통행시간지체(travel time delay)는 실제통행시간과 정체가 없는 상황에서 평균통행속도에 의한 통행시간사이의 차이를 의미한다.”라고 통행시간과 지체의 개념에 대해서 서술하고 있고, Homburger and Kell(1988)은 “지체(delay)란 교통마찰과 교통통제장치로 인한 차량의 손실시간을 의미하고, 통행시간지체(travel time delay)란 도로나 가로의 어느 구간을 통과하는데 소요되는 실제 통행시간과 정체가 없는 상황에서 차량의 평균통행속도에 의한 통행시간과의 차이로서 정지지체 외에 가·감속지체를 포함하고 있다.”고 지체의 개념에 대해서 서술하고 있으며, McShane et al.(1998)는 “통행시간지체(travel time delay)란 출발지로부터 어느 주어진 거리까지 운전자의 예상 통행시간과 실제 통행시간과의 차이로서 시간차로 측정된다.”고 통행시간지체의 개념에 대해서 서술하고 있다.



2.2 국내 문헌연구

통행시간 및 지체와 관련하여 국내의 김 등(2010)은 “통행시간지체란 어느 도로구간을 정상속도로 이동하는 차량통행시간과 차량 정체로 인해 감속되는 차량의 실제 통행시간 사이의 차이를 의미하고, 도로의 접속지점이나 병목지점을 통과하는데 발생하는 지체시간으로 사용되고 있다.”라고 통행시간지체의 개념을 정의하고 있고, 김(2012)은 “고속도로에 동적 병목구간이 형성될 때 상류부의 유입 교통량과 저속차량의 속도 변화, 차로 수 등에 따른 차량들의 평균 통행시간지체를 산정하는 모형을 개발하였는데, 트럭과 승용차의 속도차이가 크며 승용차 교통량이 많고 차로수가 적을수록 차량들이 경험하는 평균통행시간지체가 높게 나타났다.”라고 차종별 속도변화와 차로 수에 따른 통행시간지체 변화에 대해서 서술하고 있다.

국내의 오 등(2003)은 “국내 고속도로의 환경에 적합한 통행시간 추정 및 예측모형을 개발을 위하여 차량검지기 데이터를 이용한 통행시간 추정 및 예측연구를 수행하였다. 이를 위해서 경부고속도로의 서울영업소~기흥구간, 영동고속도로의 동수원~북수원구간을 대상으로 1km 간격으로 설치되어 있는 차량검지기에서 수집되는 교통량, 속도, 점유율 등의 교통데이터를 이용하여 통행시간 추정 및 예측을 실시하였다. 특히, 통행시간 추정은 정상(소통원활)소통시간대와 혼잡시간대로 구분하여 통행시간을 산출하였는데, 정상소통시간대에는 지점검지기의 평균속도를 공간평균속도를 변환시켜 통행시간을 산출하였고, 혼잡시간대에는 교통량 자료를 이용하여 진출·입지점에서 초과교통량에 의한 지체시간과 정상소통시간대의 통행시간을 합산하여 통행시간을 산출하였다. 그리고 이 추정모형을 토대로 칼만필터(Kalman Filter)기법을 이용한 예측모형을 구축하여 단기 통행시간 예측연구를 수행한 결과, 비교적 양호한 예측결과를 도출하게 되었다. 결과적으로 이러한 정확한 고속도로 교통정보가 시기적절하게 제공됨에 따라 고속도로 이용자는 도로의 혼잡구간이나 작업구간을 우회하거나 사전에 기상악화 등에 대비하는 것이 가능하여 운전의 안정성 및 쾌적성을 향

상시킬 수 있게 되었고, 고속도로망에서는 교통사고가 감소함은 물론 교통량이 집중됨에 따라 혼잡한 교통류를 시공간적으로 분산·유도하게 되어 고속도로망의 이용효율을 증대시킬 수 있게 되었다.”라고 고속도로의 차량검지기 자료를 이용한 통행시간 예측 및 추정의 효율성에 대해서 서술하고 있다.

이·김(2002)은 “시간처짐현상을 고려한 장거리구간 통행시간 추정모형의 개발연구에서는 운전자 입장에서 원하는 고속도로 다구간의 통행시간을 추정하는 모형을 구축하였다. 현재 지점검지기를 통해 생성되는 예상 통행시간 정보는 장거리 통행에서 발생하는 시간처짐현상을 반영하지 못하고 있다. 이로 인하여 도로이용자들의 신뢰가 떨어져, 전체적인 첨단 여행자 정보체계(advanced traveler information system, ATIS)가 효과를 거두지 못하고 있기 때문에 시간처짐현상과 영업소 지체를 반영한 고속도로 다구간의 통행시간추정을 위하여 한국도로공사에서 운영 중인 검지기의 교통량 자료와 교통관제체계(traffic control system, TCS)자료를 사용하였고, 실제 ATIS에 적용을 위해 이상치가 섞여있는 자료를 유지하였다. 특히, 추정에 사용된 모형은 3개의 입력유니트와 2개의 출력유니트를 가지는 선행신경망의 형태로 구성하였고, 학습방법은 역전파법을 이용하였다. 또한 학습속도와 추정력에 영향을 주는 학습계수, 은닉층의 유니트수, 반복 횟수에 따라 12개의 대안을 구성하여 추정결과를 토대로 최적 대안을 모형으로 채택하였고, 자료특성에 의해 원하는 구간까지의 통행시간을 구할 수가 있었다.”라고 시간처짐현상과 영업소 지체를 고려한 장거리구간 통행시간 추정모형개발에 대해서 서술하고 있다.

국내의 김 등(2005)은 “현재까지 다양한 검지기로부터 추정되는 통행시간의 융합에 관한 연구는 주로 범 지구위치결정시스템(global positioning system, GPS)과 시험차량(Probe) 자료 등 간헐적인 자료를 기반으로 이루어져 왔는데, 이러한 간헐적 자료의 분산 비에 기초한 융합모형은 차량자동인식체계(automatic vehicle identification, AVI)와 같이 다량의 자료 취득이 용이한 시스템에는 적합하지 않다. 따라서 일반국도의 지점 및 구간검지기 자료의 융합을 통한 통행시간 추정 알고리즘 개발연구에서는 지점검지기와 번호판 인식

AVI를 기반으로 통행시간의 융합모형을 개발하는 연구로 통행시간의 융합을 위해 최적화 융합모형과 비례화 융합모형을 각각 개발하였다. 결과적으로, 최적화 융합모형은 실시간 이력자료를 기반으로 융합 가중치를 산정하여 현재 시간대에 적용하는 실시간 차원의 동적 융합비 추정모형으로 가장 우수한 추정력을 확인할 수 있었다.”라고 검지기로부터 추정되는 통행시간의 융합모형에 대해서 서술하고 있고, 장 등(2004)은 “AVI 자료를 이용한 동적 통행시간 추정연구에서 일반국도의 실시간 통행시간 정보제공을 위한 동적 통행시간 추정모형을 개발하였다. 지금까지 교통정보 제공을 위한 통행시간 추정에 관한 기존의 많은 연구가 있었지만, 우리나라에서 일반국도에 대한 통행시간 추정모형은 아직 없었다. 그리하여 통행시간 추정을 위해 일반국도 1호선에 약 10km 간격으로 연속하여 설치된 AVI자료를 이용했고, 추정모형 평가를 위한 통행시간 기준 값 수집을 위해 프로브차량을 이용했다. 사용된 일반국도 1호선 구간에서는 잦은 유출·입지점으로 인해 원시 AVI자료에 많은 이상치가 관측되었기 때문에 이상치를 제거한 후, 칼만필터링 알고리즘을 이용하여 통행시간을 추정했다. 수집주기를 달리하여 추정모형을 평가한 결과 5분, 10분, 15분 수집주기에 대해서는 절대평균상대오차(mean absolute relative error, MARE)가 0.061~0.066로 비슷하게 나왔고, 30분 수집주기에서는 MARE가 0.078로 나와 다소 높은 오차율을 나타냈다.”라고 AVI 자료를 이용한 동적 통행시간 추정방법에 대해서 서술하고 있으며, 유 등(2004)은 “1990년대 후반부터 구간 검지기를 이용한 링크 통행시간 추정에 필요한 최소 표본수와 링크 및 경로 통행시간 추정과 추정을 위한 적정 집계간격에 대한 연구가 폭넓게 진행되어 왔다. 그러나 루프(지점) 검지기를 이용한 교통정보수집체계의 경우, 합리적인 검증 없이 선정된 1분~5분의 집계간격을 이용하고 있다. 통행시간 추정 및 추정을 위한 루프검지기 자료의 최적 집계간격 결정연구에서는 지점 검지기인 루프검지기를 이용해 통행시간자료를 수집하여 링크 및 경로 통행시간 추정과 추정을 위한 적정 집계간격 결정 모형을 개발하고 현장의 자료에 적용하였다. 특히, 링크 및 경로 통행시간 추정을 위한 적정 집계간격 결정 모형으로 평균제곱오차의 교차검증

(cross-validated mean square error, CVMSE)방법을 이용하였으며, 링크 및 경로 통행시간 추정을 위한 적정 집계간격 결정 모형으로는 평균제곱오차의 예측(forecasting mean square error, FMSE)기법을 적용하였다. 개발된 방법론을 경부고속도로의 루프데이터에 적용한 결과 링크 및 경로 통행시간 추정을 위한 적정 집계간격은 3~5분으로, 링크 및 경로 통행시간 추정을 위한 적정 집계간격은 10~20분으로 분석되었다.”라고 통행시간 추정을 위한 루프검지기 자료의 최적 집계간격 결정방법에 대해서 서술하고 있다.

국내의 김·김(2001)은 “검지자료합성을 통한 도시간선도로 실시간 통행시간 추정모형연구에서는 지점검지체계와 구간검지체계와의 자료합성을 통하여 도심간선도로 및 지방도로 구간별 성과척도를 산정할 뿐만 아니라 유고검지 및 통행패턴 추정, 네트워크 기종점에 대한 최적/최단 경로를 탐색하는데 기초가 되는 구간 통행시간 추정을 수행하였다. 개개 수집원의 자료합성을 위해 퍼지이론과 인공신경망의 합성모형(fuzzy adaptive learning estimator for travel time from multi-information sources, FALEM)을 개발하여 개발된 FALEM 모형에 의해 개개 구간의 통행 시간을 산출하였고, 동일시간, 동일구간에서 조사된 실측데이터와의 오차를 비교를 통해 추정된 통행시간을 검증하였다. 검증 테스트 환경은 개발모형에 의해 추정된 구간 통행시간의 적용성을 고려하여 실시간 운영 하에서 수행되었다.”라고 통행시간 추정을 위한 지점검지체계와 구간검지체계와의 자료합성방안에 대해서 서술하고 있다.

지금까지 대부분의 연구는 통행시간 및 지체의 개념, 성과척도로서 통행시간, 지체 및 신뢰성의 활용, 통행시간 및 지체의 가치개념, 그리고 통행시간 및 지체 추정 파라메타, 시간차집현상의 고려, GPS와 지리정보체계(geographic information system, GIS)의 이용, AVI의 이용, 지점검지체계와 구간검지체계의 합성 등에 대해서 집중되어 있으나, 차로별 통행특성을 고려한 통행시간 및 지체의 추정연구는 거의 없었다. 그러므로 이 연구에서는 지정차로제가 시행 중인 경부고속도로와 남해고속도로의 8차로구간을 대상으로 차로별 통행특성을 고려한 통행시간 및 지체 추정방안을 모색하고자 한다.

3장 자료 수집 및 분석

이 장에서는 연구대상 경부고속도로와 남해고속도로의 8차로구간에 대한 VDS자료수집 및 분석에 대하여 기술한다.

3.1 자료 수집

국내 고속도로 중에서 연구대상 경부고속도로(EX-1)는 남북방향의 대표적인 고속도로로 서울과 부산사이의 총 연장 416.05km에 양방향 4~10차로로 운행되고 있는데, 8차로구간에서 최근 3년 동안의 교통량과 속도가 각각 약 510대(veh/h/l)~560대(veh/h/l)와 약 99km/h~102km/h로 관측되면서 다소 작은 통행변화를 보이고 있다. 반면, 연구대상 남해고속도로(EX-10)는 동서방향의 대표적인 고속도로로 전남 영암과 부산사이의 총 연장 273.1km로 양방향 4~8차로로 운행되고 있는데, 8차로구간에서 최근 3년 동안의 교통량과 속도가 각각 약 360대(veh/h/l)~470대(veh/h/l)와 약 95km/h~103km/h로 관측되면서 다소 큰 통행변화를 보이고 있다(참조 Tables 3.1(a)~3.1(b)). 이러한 고속도로로부터 VDS자료 수집을 위해서 지정차로제가 운행되고 있는 양방향 8차로구간(경부고속도로: 대구와 김천구간과 남해고속도로: 진주와 산인구간)을 선정하였고, 그 중에서 관측오류가 없는 약 30km구간(방향별 15개 지점씩 총 60개 지점 검지기)을 방향별 각 3개의 10km의 연구대상 소구간으로 분할하여 매15분 단위로 1일 24시간씩 1개월(2015년 6월 1일~6월 30일)동안 실시간의 VDS자료를 수집하였으며(참조 Tables 3.2~3.3), 이 중에서 3주간의 자료를 통행특성분석 및 모형구축에 사용하였고, 나머지 1주간의 자료를 모형검증에 사용하였다.

또한, 연구대상 8차로구간에서 VDS자료수집과 함께 차로별 통행특성분석, 통행시간 및 지체분석을 하였고, 모형의 구축 및 검증을 위해서는 MS OFFICE 2010, SPSS 19 및 SIGMA PLOT 12 등의 소프트웨어가 사용되었다.

Table 3.1(a) Geometry of expressways under the study

	Gyeongbu(EX-1)		Namhae(EX-10)	
	Total	segment	Total	segment
Length(km)	416.0	$3 \times 10 = 30$	273.1	$3 \times 10 = 30$
Number of Lanes	4 to 10	8	4 to 8	8
Regulatory Speed (km/h)	100	100	100	100

Table 3.1(b) Travel characteristics of expressways under the study

Expressway	Direction	Flow(veh/h/l)			Speed(km/h)		
		2013(a)	2014(b)	2015	2013(a)	2014(b)	2015
Gyeongbu (EX-1)	NB	511	546	524	98	100	102
	SB	510	571	508	99	99	102
Namhae (EX-10)	EB	463	370	354	95	100	105
	WB	463	375	353	95	99	101

Note: (a) Kwon(2015)

(b) Jeong(2015)

Table 3.2 Stations selected for analyses in EX-1(unit: km)

Station No.	EX-1(NB)			EX-1(SB)		
	Seg 1	Seg 2	Seg 3	Seg 1	Seg 2	Seg 3
Station 1	147.9	158.3	167.9	147.9	158.3	167.9
Station 2	148.9	160.1	171.9	148.9	160.1	171.9
Station 3	150.8	163.2	172.7	150.8	163.2	172.7
Station 4	154.2	164.2	175.6	154.2	164.2	175.6
Station 5	156.1	166.0	176.7	156.1	166.0	176.7

Table 3.3 Stations selected for analyses in EX-10(unit: km)

Station No.	EX-1(NB)			EX-1(SB)		
	Seg 1	Seg 2	Seg 3	Seg 1	Seg 2	Seg 3
Station 1	74.9	86.6	95.6	74.9	86.6	95.6
Station 2	76.8	87.4	97.6	76.8	87.4	97.6
Station 3	81.1	89.4	98.8	81.1	89.4	98.8
Station 4	81.5	91.6	101.5	81.5	91.6	101.5
Station 5	82.7	92.6	103.3	82.7	92.6	103.3

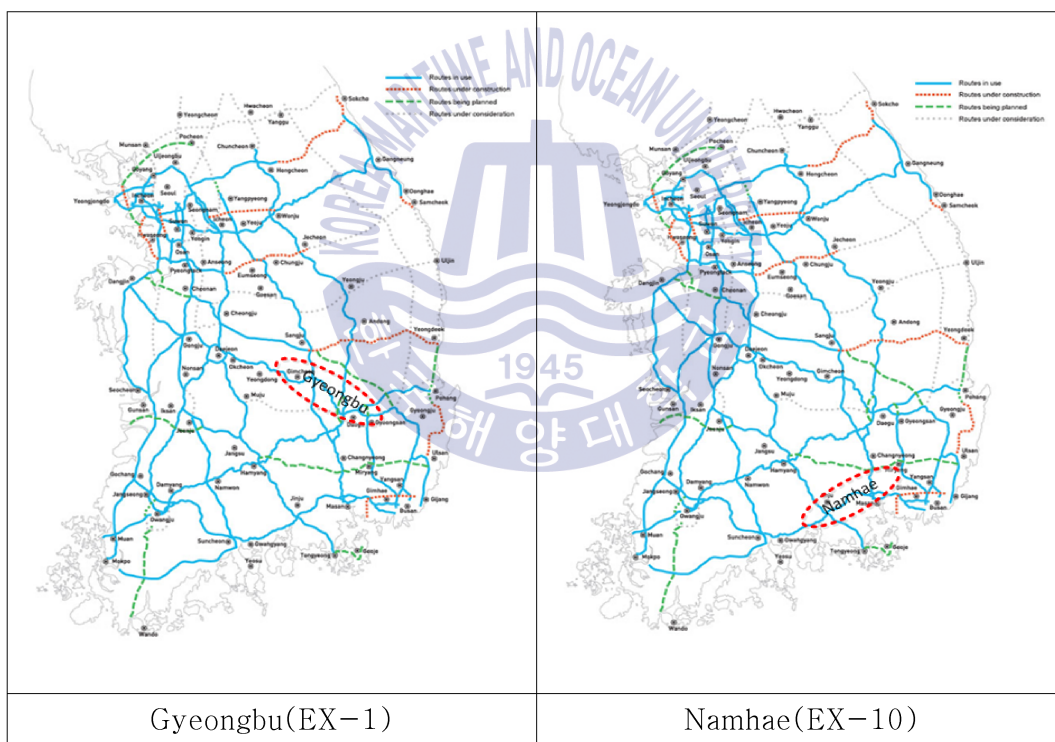


Figure 3.1 Expressway segments under the study

3.2 자료 분석

연구대상 단위구간에서 15분단위의 지점특성자료를 1시간단위의 구간특성자

료로 전환하기 위해서 교통량(flow)은 1시간단위의 교통류율로 전환하였고, 속도(speed)는 차로별 공간평균속도(space mean speed)로 전환하였으며, 점유율(occupancy)은 1시간단위의 평균 점유율로 전환하였다. 또한 연구대상 단위 구간에서 통행시간 및 지체분석은 차로별 자유흐름속도의 85번째 백분위(85th percentile) 속도를 기준으로 통행할 때 발생하는 통행시간 및 지체로 전환하였다.

3.2.1 교통량 분석

교통량(flow)이란 단위시간동안 수집된 차량대수를 의미하고, 단위는 vehicle per hour per lane(veh/h/l)으로 표현되며, 다음과 같은 계산과정을 통해 교통량분석에 사용하였다(TRB, 1975).

$$Q = \frac{N}{t} = \frac{\sum_{i=1}^N q_i}{\sum_{i=1}^N t_{hi}} \quad (3.1)$$

여기서,

- Q : flow rate for 1hour(veh/h/l)
- N : no. of vehicles observed for unit time(veh)
- t : unit time period(1hour)
- t_{hi} : time headway of each vehicle i (sec)
- q_i : each vehicle i (veh)

연구대상 고속도로의 교통량을 비교 분석한 결과, 아래의 Figures 3.2~3.5에서 보여 주듯이 방향별 요일별 시간별 그리고 차로별 교통량에서 뚜렷한 차이를 확인할 수 있었다.

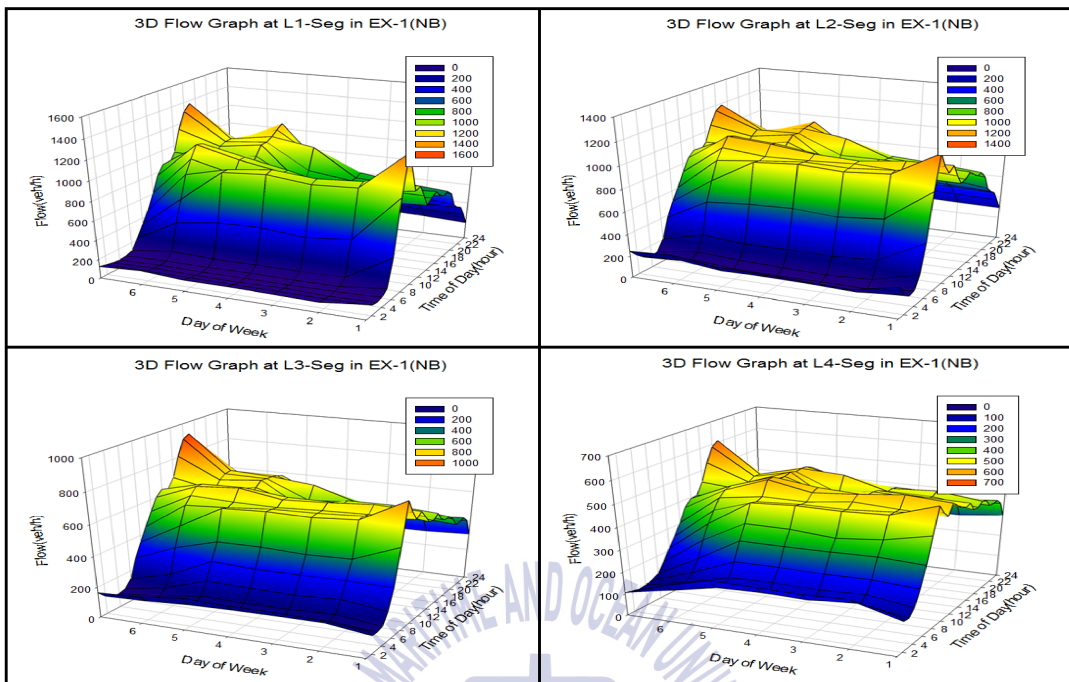


Figure 3.2 3D Flow graph by lane in EX-1(NB)

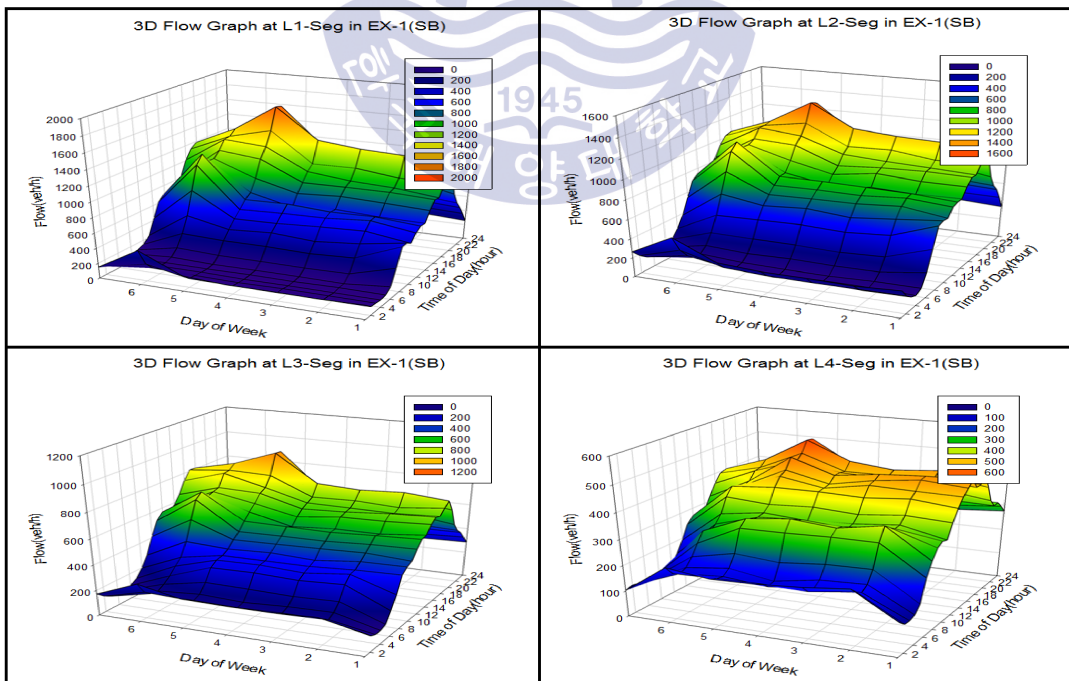


Figure 3.3 3D Flow graph by lane in EX-1(SB)

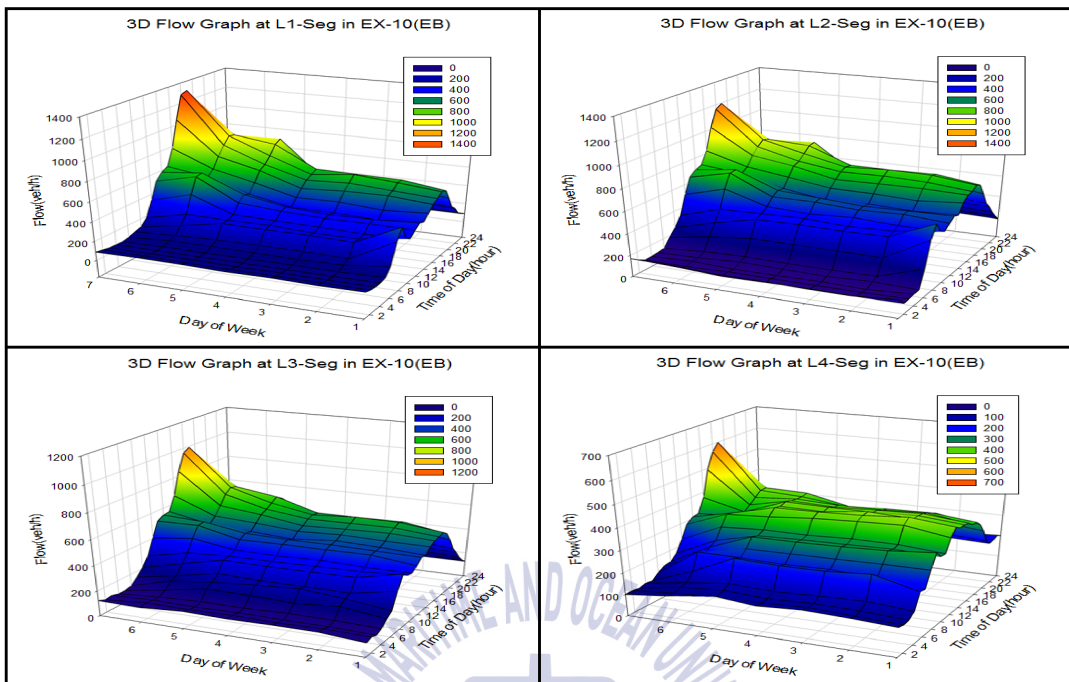


Figure 3.4 3D Flow graph by lane in EX-10(EB)

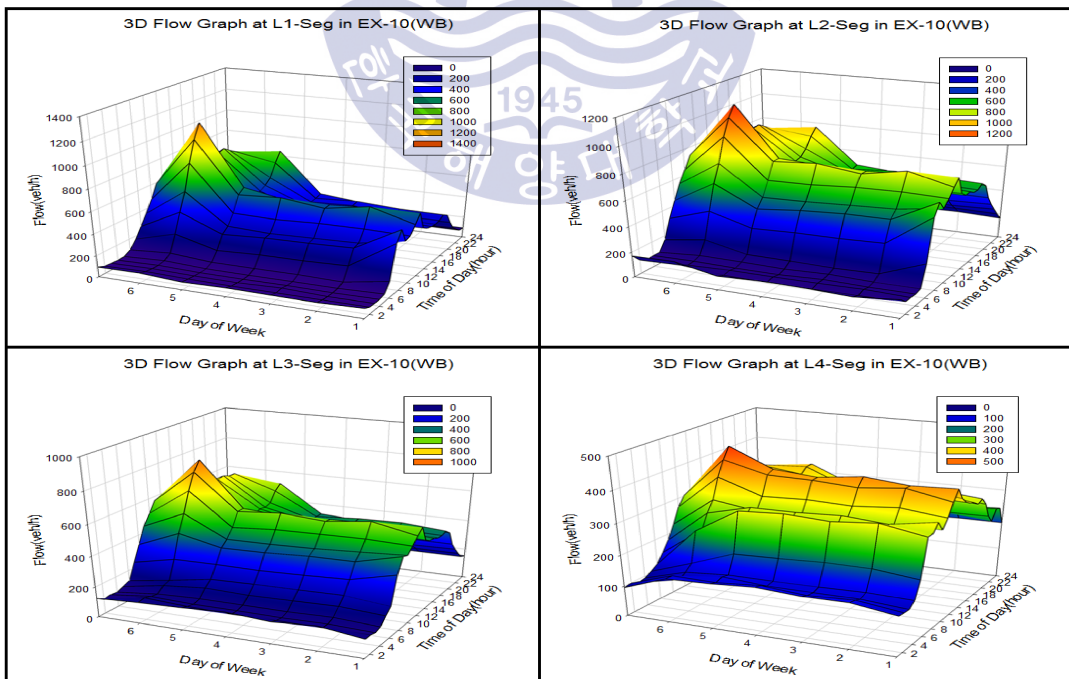


Figure 3.5 3D Flow graph by lane in EX-10(WB)

우선적으로 경부고속도로의 북쪽방향(northbound, NB)에서 통행량을 살펴보면, 오후 첨두시간대 통행량이 약 772대로 평균통행량 약 524대에 비해 약 47%정도 높게 나타나면서 약 242대의 통행량편차를 보였다. 특히, 차로별 통행량을 비교해보면, 고속도로의 추월차로인 1차로에서는 오후 첨두시간대 통행량이 약 971대로 평균통행량 약 609대에 비해 약 362대정도 높게 나타나면서 약 338대의 통행량편차를 보였고, 소형차 주행차로인 2차로에서도 오후 첨두시간대 통행량이 약 955대로 평균통행량 약 650대에 비해 약 305대정도 높게 나타나면서 약 316대의 통행량편차를 보였다. 또한 중형차 주행차로인 3차로에서는 오후 첨두시간대 통행량이 약 671대로 평균통행량 약 473대에 비해 약 198대정도 높게 나타나면서 약 199대의 통행량편차를 보였고, 대형차 주행차로인 4차로에서도 오후 첨두시간대 통행량이 약 490대로 평균통행량 약 365대에 비해 약 125대정도 높게 나타나면서 약 119대의 통행량편차를 보였다(참조 Tables 3.4~3.5과 Figure 3.6).

반면 경부고속도로의 남쪽방향(southbound, SB)에서 통행량을 살펴보면, 오후 첨두시간대 통행량이 약 960대로 평균통행량 약 508대에 비해 약 89%정도 높게 나타나면서 약 255대의 통행량편차를 보였다. 특히, 차로별 통행량을 비교해보면, 고속도로의 추월차로인 1차로에서는 오후 첨두시간대 통행량이 약 1,367대로 평균통행량 약 617대에 비해 약 750대정도 높게 나타나면서 약 393대의 통행량편차를 보였고, 소형차 주행차로인 2차로에서도 오후 첨두시간대 통행량이 약 1,182대로 평균통행량 약 632대에 비해 약 550대정도 높게 나타나면서 약 331대의 통행량편차를 보였다. 또한 중형차 주행차로인 3차로에서는 오후 첨두시간대 통행량이 약 822대로 평균통행량 약 464대에 비해 약 358대정도 높게 나타나면서 약 206대의 통행량편차를 보였고, 대형차 주행차로인 4차로에서도 오후 첨두시간대 통행량이 약 470대로 평균통행량 약 320대에 비해 약 150대정도 높게 나타나면서 약 98대의 통행량편차를 보였다(참조 Tables 3.4~3.5과 Figure 3.7). 결과적으로 경부고속도로의 통행량에서는 방향별 차로별 뚜렷한 차이를 확인할 수 있었다.

Table 3.4 Flow analysis in EX-1(veh/h/l, %)

Expressway	Statistics	NB		SB	
		Q	Shift	Q	Shift
EX-1	Max	781	+49	960	+89
	Min	119	-77	135	-73
	Avg	524	-	508	-
	SD	242		255	
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	772	+47	960	+89

Table 3.5 Flow analysis by lane in EX-1(veh/h/l)

Direction	Statistics	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4
EX-1(NB)	Max	971	991	684	490
	Min	92	108	124	141
	Avg	609	650	473	365
	SD	338	316	199	119
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	971	955	671	490
EX-1(SB)	Max	1,367	1,182	822	470
	Min	99	118	147	156
	Avg	617	632	464	320
	SD	393	331	206	98
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	1,367	1,182	822	470

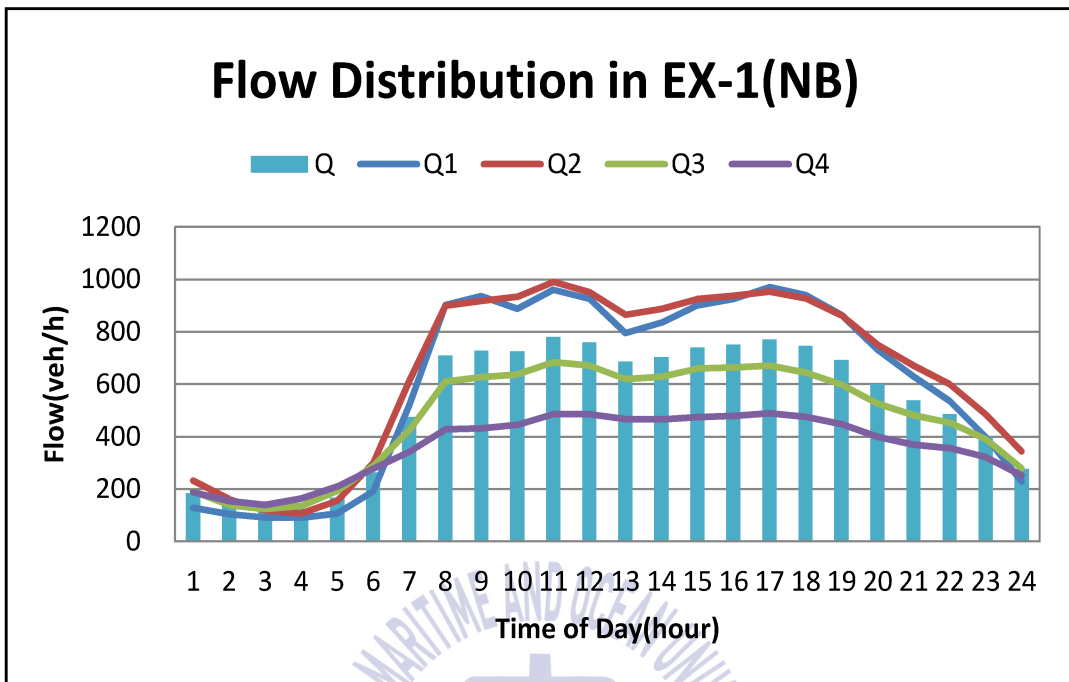


Figure 3.6 Flow distribution in EX-1(NB)

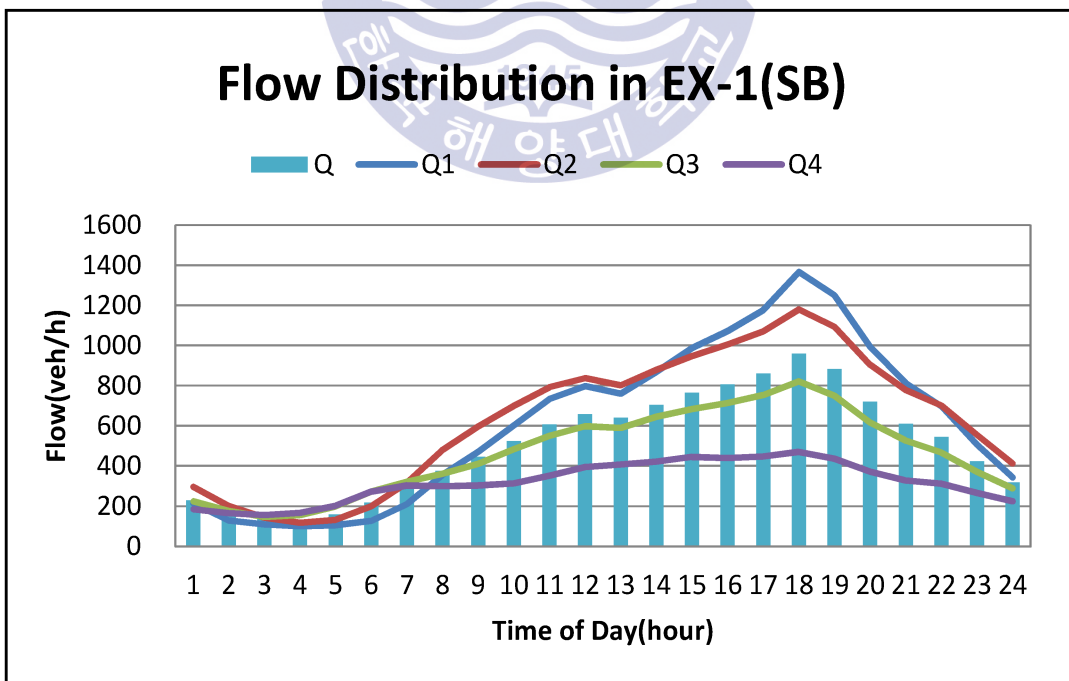


Figure 3.7 Flow distribution in EX-1(SB)

다음으로 남해고속도로의 동쪽방향(eastbound, EB)에서 통행량을 살펴보면, 오후 첨두시간대 통행량이 약 657대로 평균통행량 약 354대에 비해 약 86%정도 높게 나타나면서 약 183대의 통행량편차를 보였다. 특히, 차로별 통행량을 비교해보면, 고속도로의 추월차로인 1차로에서는 오후 첨두시간대 통행량이 약 745대로 평균통행량 약 336대에 비해 약 409대정도 높게 나타나면서 약 226대의 통행량편차를 보였고, 소형차 주행차로인 2차로에서도 오후 첨두시간대 통행량이 약 829대로 평균통행량 약 444대에 비해 약 385대정도 높게 나타나면서 약 244대의 통행량편차를 보였다. 또한 중형차 주행차로인 3차로에서는 오후 첨두시간대 통행량이 약 649대로 평균통행량 약 361대에 비해 약 288대정도 높게 나타나면서 약 176대의 통행량편차를 보였고, 대형차 주행차로인 4차로에서도 오후 첨두시간대 통행량이 약 407대로 평균통행량 약 275대에 비해 약 132대정도 높게 나타나면서 약 95대의 통행량편차를 보였다(참조 Tables 3.6~3.7과 Figure 3.8).

반면 남해고속도로의 서쪽방향(westbound, WB)에서 통행량을 살펴보면, 오전 첨두시간대 통행량이 약 618대로 평균통행량 약 353대에 비해 약 75%정도 높게 나타나면서 약 171대의 통행량편차를 보였다. 특히, 차로별 통행량을 비교해보면, 고속도로의 추월차로인 1차로에서는 오전 첨두시간대 통행량이 약 660대로 평균통행량 약 327대에 비해 약 333대정도 높게 나타나면서 약 197대의 통행량편차를 보였고, 소형차 주행차로인 2차로에서도 오전 첨두시간대 통행량이 약 807대로 평균통행량 약 457대에 비해 약 350대정도 높게 나타나면서 약 244대의 통행량편차를 보였다. 또한 중형차 주행차로인 3차로에서는 오전 첨두시간대 통행량이 약 607대로 평균통행량 약 360대에 비해 약 247대정도 높게 나타나면서 약 166대의 통행량편차를 보였고, 대형차 주행차로인 4차로에서도 오전 첨두시간대 통행량이 약 397대로 평균통행량 약 267대에 비해 약 130대정도 높게 나타나면서 약 83대의 통행량편차를 보였다(참조 Tables 3.6~3.7과 Figure 3.9). 결과적으로 남해고속도로의 통행량에서는 방향별보다는 차로별로 뚜렷한 차이를 확인할 수 있었다.

Table 3.6 Flow analysis in EX-10(veh/h/l, %)

Expressway	Statistics	EB		WB	
		Q	Shift	Q	Shift
EX-10	Max	657	+86	618	+75
	Min	100	-72	101	-71
	Avg	354	-	353	-
	SD	183		171	
	AM-Peak	-	-	618	+75
	PM-Peak	657	+86	-	-

Table 3.7 Flow analysis by lane in EX-10(veh/h/l)

Direction	Statistics	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4
EX-10(EB)	Max	745	829	649	407
	Min	59	94	115	127
	Avg	336	444	361	275
	SD	226	244	176	95
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	745	829	649	407
EX-10(WB)	Max	660	807	607	397
	Min	60	92	118	127
	Avg	327	457	360	267
	SD	197	244	166	83
	AM-Peak	660	807	607	397
	PM-Peak	-	-	-	-

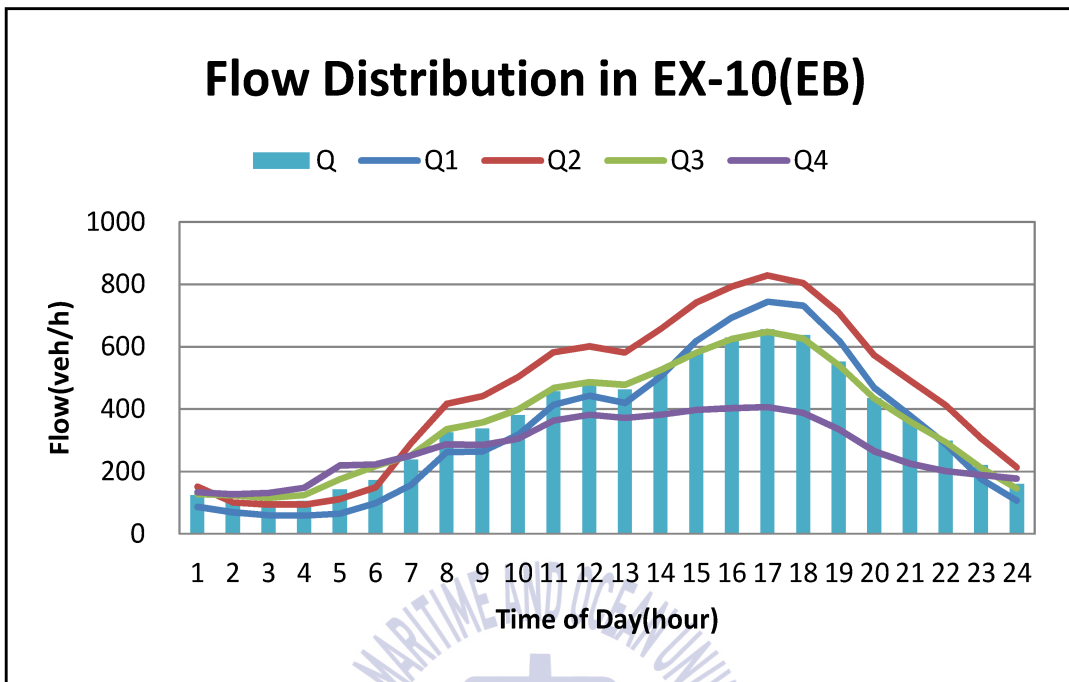


Figure 3.8 Flow distribution in EX-10(EB)

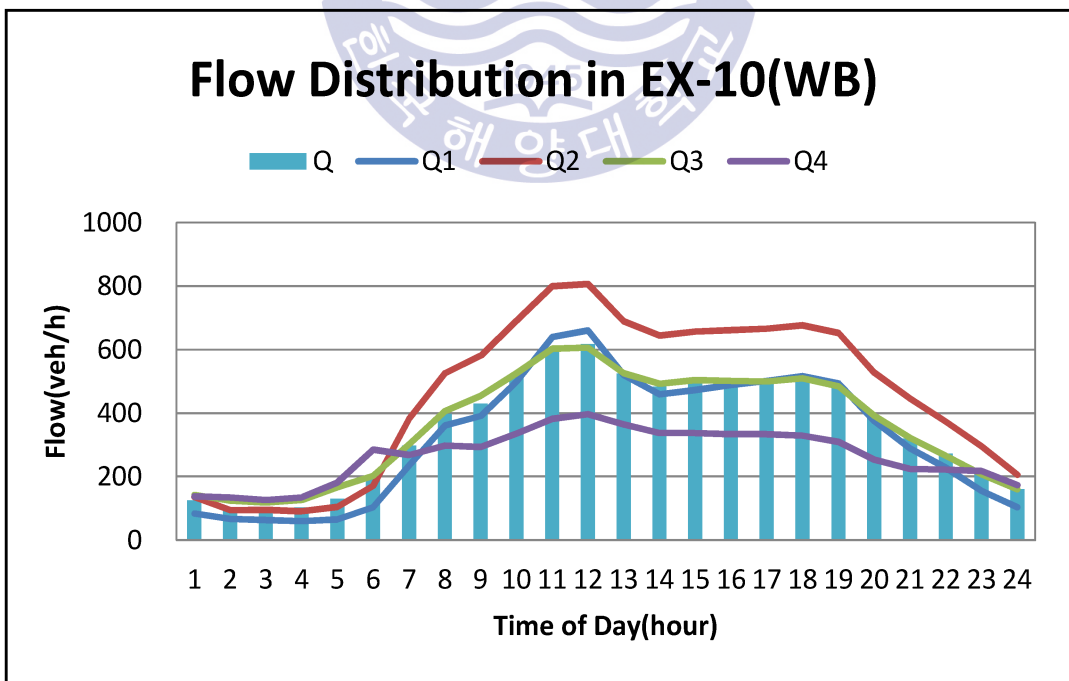


Figure 3.9 Flow distribution in EX-10(WB)

결과적으로 지정차로제가 시행중인 경부고속도로와 남해고속도로에서는 방향별 요일별 시간별 그리고 차로별 통행량 분포와 편차에서 뚜렷한 차이가 확인되었다. 특히, 경부고속도로에서는 북쪽방향보다는 남쪽방향의 통행량이 상대적으로 많았고 차로에 관계없이 오후에 통행량이 증가하면서 첨두 통행량을 보였다. 반면 남해고속도로의 동쪽방향에서는 서쪽방향보다 통행량이 많았는데, 차로에 관계없이 오후에 첨두 통행량을 보였으나, 서쪽방향에서는 차로에 관계없이 오전에 첨두 통행량을 보였다. 그러므로 고속도로시설의 효율성 개선을 위해서는 고속도로의 방향별 요일별 시간별 그리고 차로별 통행량 집중정도에 기초하여 첨단 여행자 정보체계(advanced traveler information systems, ATIS)와 첨단 여행자 관리체계(advanced traveler management systems, ATMS)를 포함한 고속도로 교통관리체계(freeway traffic management system, FTMS) 구축을 검토할 필요가 있다고 생각하였다.



3.2.2 속도 분석

속도(speed)란 단위시간동안에 차량이 주행한 거리를 의미하고, 단위는 kilometers per hour(km/h)로 표현되며, 연구대상구간 내 자료의 상호 비교를 위해서 1시간 단위의 공간평균속도로 전환하여 분석에 사용하였다(May, 1990; Garber and Hoel, 1988).

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{N_i}{u_i} \right)} \quad (3.2)$$

여기서,

- U : space mean speed at a unit segment(km/h)
- N_i : no. of vehicles observed at station i (veh)
- n : no. of stations within a unit segment
- u_i : spot mean speed observed at station i (km/h)

연구대상 고속도로의 공간평균속도를 비교한 결과, 아래의 Figures 3.10~3.13에서 보여주듯이 요일별 시간별 그리고 차로별 속도에서 상당한 차이를 확인할 수 있었다.

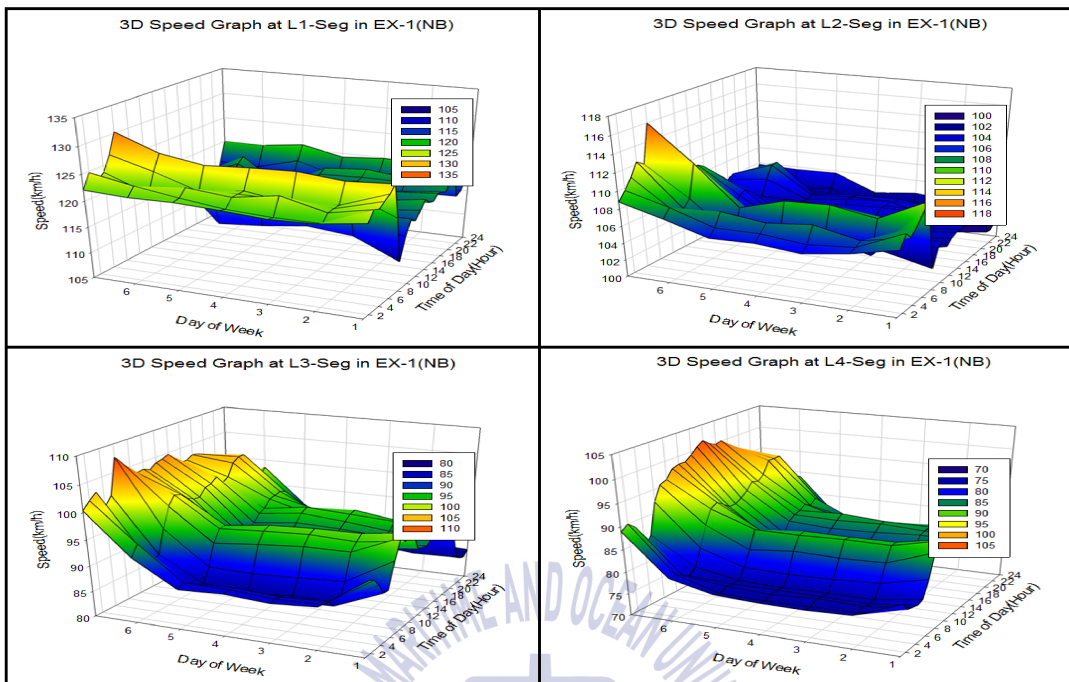


Figure 3.10 3D Speed graph by lane in EX-1(NB)

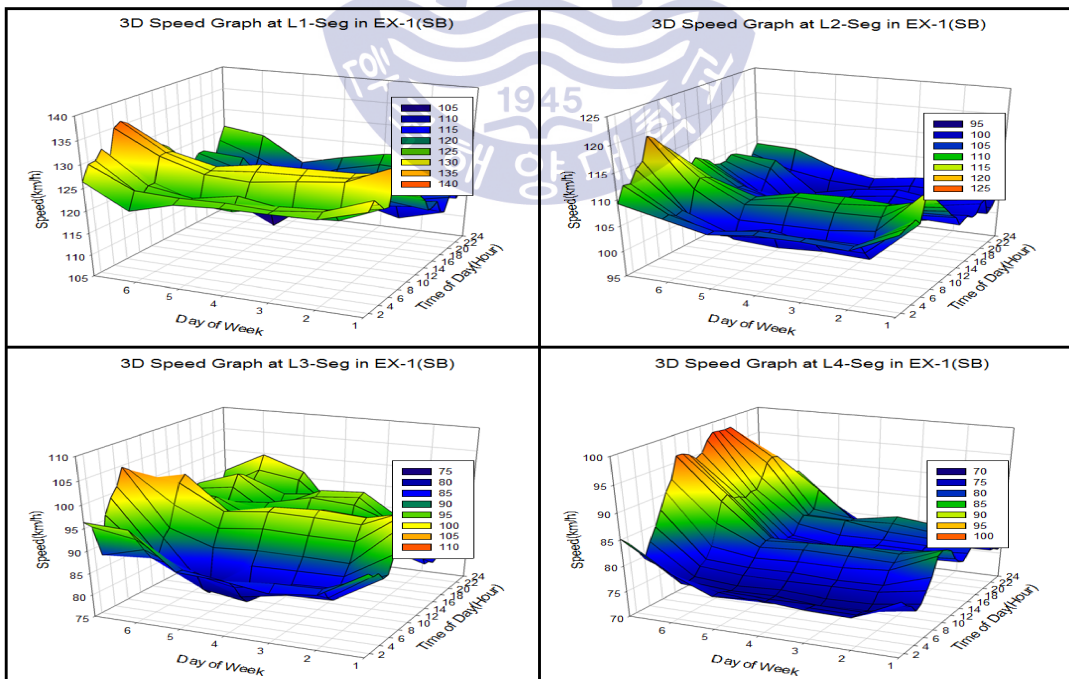


Figure 3.11 3D Speed graph by lane in EX-1(SB)

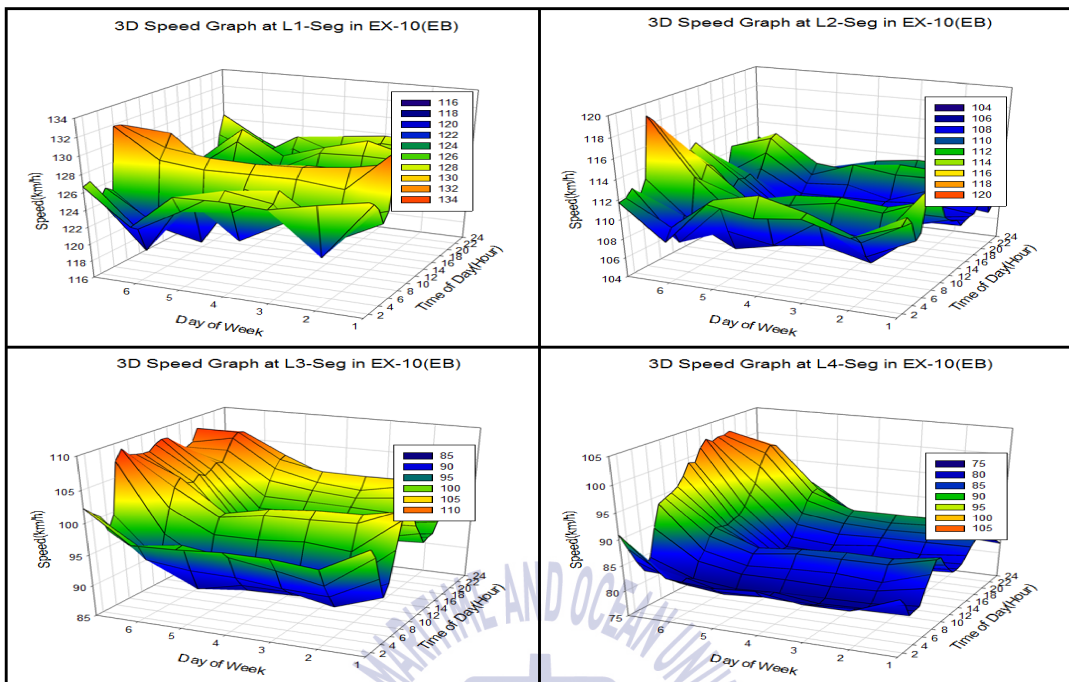


Figure 3.12 3D Speed graph by lane in EX-10(EB)

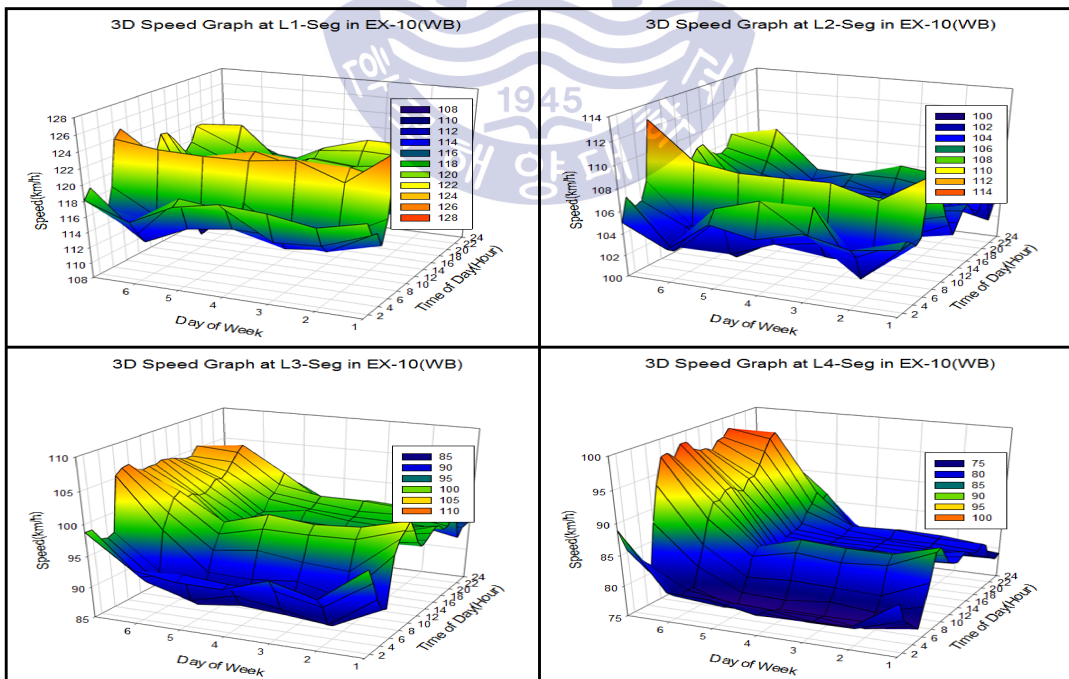


Figure 3.13 3D Speed graph by lane in EX-10(WB)

우선적으로 경부고속도로의 북쪽방향에서 속도를 살펴보면, 오후 첨두시간대 통행속도가 약 104km/h로 평균통행속도 약 102km/h에 비해 약 3%정도 높게 나타나면서 약 3.2km/h의 속도편차를 보였다. 특히, 차로별 속도를 비교해보면, 고속도로의 추월차로인 1차로에서는 오후 첨두시간대 통행속도가 약 116km/h로 평균통행속도 약 119km/h에 비해 약 3km/h정도 낮게 나타나면서 약 3.4km/h의 속도편차를 보였고, 소형차 주행차로인 2차로에서도 오후 첨두시간대 통행속도가 약 105km/h로 평균통행속도 약 105km/h와 거의 비슷하게 나타나면서 약 2.0km/h의 속도편차를 보였다. 또한 중형차 주행차로인 3차로에서는 오후 첨두시간대 통행속도가 약 97km/h로 평균통행속도 약 94km/h에 비해 약 3km/h정도 높게 나타나면서 약 3.4km/h의 속도편차를 보였고, 대형차 주행차로인 4차로에서도 오후 첨두시간대 통행속도가 약 89km/h로 평균통행속도 약 84km/h에 비해 약 5km/h정도 높게 나타나면서 약 4.3km/h의 속도편차를 보였다(참조 Tables 3.8~3.9과 Figure 3.14).

반면 경부고속도로의 남쪽방향에서 속도를 살펴보면, 오후 첨두시간대 통행속도가 약 102km/h로 평균통행속도 약 102km/h와 거의 비슷하게 나타나면서 약 3.7km/h의 속도편차를 보였다. 특히, 차로별 속도를 비교해보면, 고속도로의 추월차로인 1차로에서는 오후 첨두시간대 통행속도가 약 114km/h로 평균통행속도 약 122km/h에 비해 약 8km/h정도 낮게 나타나면서 약 5.0km/h의 속도편차를 보였고, 소형차 주행차로인 2차로에서도 오후 첨두시간대 통행속도가 약 103km/h로 평균통행속도 약 106km/h에 비해 약 3km/h정도 낮게 나타나면서 약 2.6km/h의 속도편차를 보였다. 또한 중형차 주행차로인 3차로에서는 오후 첨두시간대 통행속도가 약 93km/h로 평균통행속도 약 91km/h에 비해 약 2km/h정도 높게 나타나면서 약 3.5km/h의 속도편차를 보였고, 대형차 주행차로인 4차로에서도 오후 첨두시간대 통행속도가 약 86km/h로 평균통행속도 약 81km/h에 비해 약 5km/h정도 높게 나타나면서 약 3.0km/h의 속도편차를 보였다(참조 Tables 3.8~3.9과 Figure 3.15). 결과적으로 경부고속도로에서는 방향별보다 차로별로 뚜렷한 속도차이를 확인할 수 있었다.

Table 3.8 Speed analysis in EX-1(km/h, %)

Expressway	Statistics	NB		SB	
		U	Shift	U	Shift
EX-1	Max	106	+4	108	+6
	Min	95	-6	93	-9
	Avg	102	-	102	-
	SD	3.2		3.7	
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	104	+3	102	+1

Table 3.9 Speed analysis by lane in EX-1(km/h)

Direction	Statistics	U_1	U_2	U_3	U_4
EX-1(NB)	Max	127	110	98	90
	Min	114	102	88	78
	Avg	119	105	94	84
	SD	3.4	2.0	3.4	4.3
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	116	105	97	89
EX-1(SB)	Max	130	111	99	86
	Min	114	102	85	76
	Avg	122	106	91	81
	SD	5.0	2.6	3.5	3.0
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	114	103	93	86

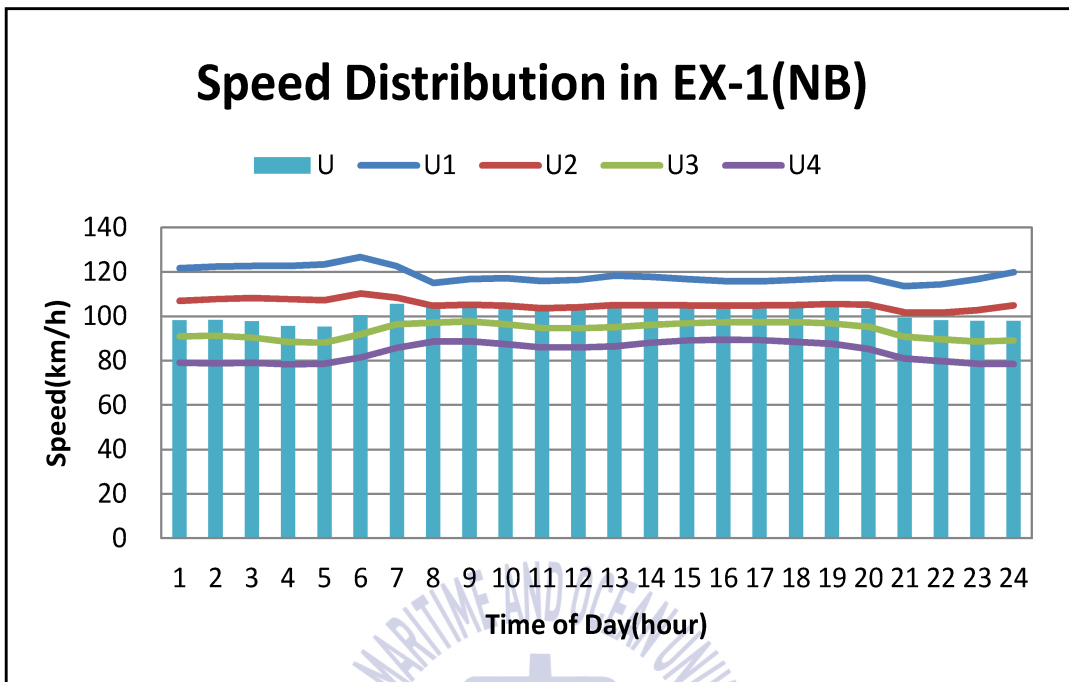


Figure 3.14 Speed distribution in EX-1(NB)

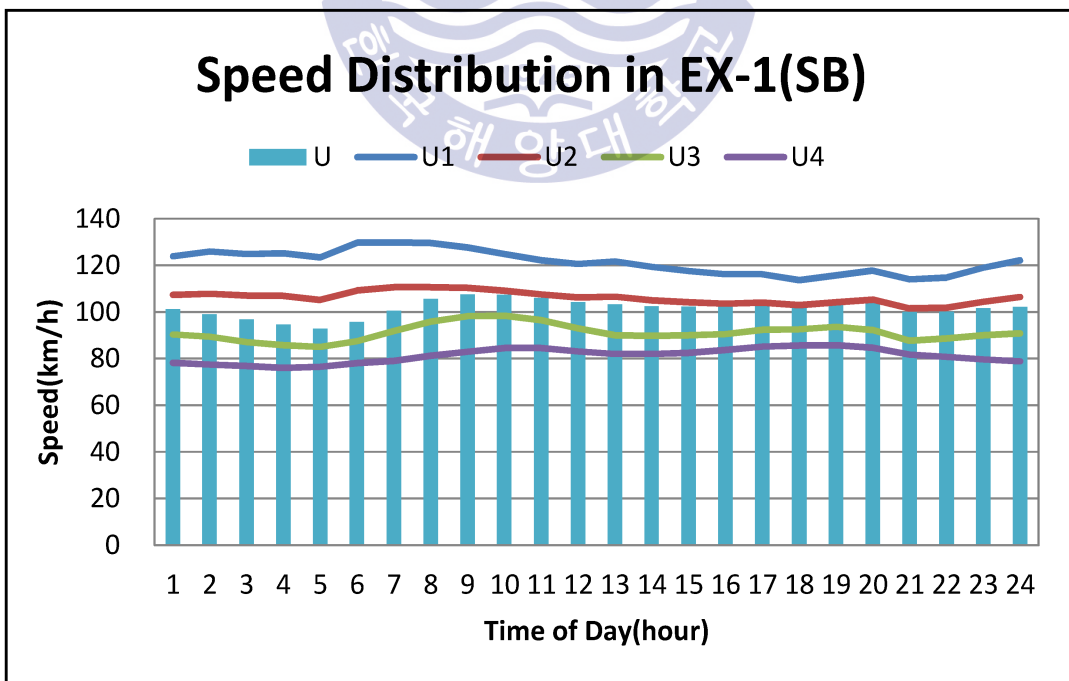


Figure 3.15 Speed distribution in EX-1(SB)

다음으로 남해고속도로의 동쪽방향에서 속도를 살펴보면, 오후 첨두시간대 통행속도가 약 109km/h로 평균통행속도 약 105km/h에 비해 약 3%정도 높게 나타나면서 약 4.1km/h의 속도편차를 보였다. 특히, 차로별 속도를 비교해보면, 고속도로의 추월차로인 1차로에서는 오후 첨두시간대 통행속도가 약 122km/h로 평균통행속도 약 125km/h에 비해 약 3km/h정도 높게 나타나면서 약 2.2km/h의 속도편차를 보였고, 소형차 주행차로인 2차로에서도 오후 첨두시간대 통행속도가 약 109km/h로 평균통행속도 약 110km/h에 비해 1km/h정도 낮게 나타나면서 약 1.4km/h의 속도편차를 보였다. 또한 중형차 주행차로인 3차로에서는 오후 첨두시간대 통행속도가 약 103km/h로 평균통행속도 약 100km/h에 비해 약 3km/h정도 높게 나타나면서 약 3.4km/h의 속도편차를 보였고, 대형차 주행차로인 4차로에서도 오후 첨두시간대 통행속도가 약 92km/h로 평균통행속도 약 87km/h에 비해 약 5km/h정도 높게 나타나면서 약 3.5km/h의 속도편차를 보였다(참조 Tables 3.10~3.11과 Figure 3.16).

반면 남해고속도로의 서쪽방향에서 속도를 살펴보면, 오전 첨두시간대 통행속도가 약 103km/h로 평균통행속도 약 101km/h에 비해 약 2km/h정도 높게 나타나면서 약 4.1km/h의 속도편차를 보였다. 특히, 차로별 속도를 비교해보면, 고속도로의 추월차로인 1차로에서는 오전 첨두시간대 통행속도가 약 115km/h로 평균통행속도 약 118km/h에 비해 약 3km/h정도 낮게 나타나면서 약 5.0km/h의 속도편차를 보였고, 소형차 주행차로인 2차로에서도 오전 첨두시간대 통행속도가 약 104km/h로 평균통행속도 약 106km/h에 비해 약 2km/h정도 낮게 나타나면서 약 1.4km/h의 속도편차를 보였다. 또한 중형차 주행차로인 3차로에서는 오전 첨두시간대 통행속도가 약 98km/h로 평균통행속도 약 97km/h에 비해 약 1km/h정도 높게 나타나면서 약 3.4km/h의 속도편차를 보였고, 대형차 주행차로인 4차로에서도 오전 첨두시간대 통행속도가 약 86km/h로 평균통행속도 약 84km/h에 비해 약 2km/h정도 높게 나타나면서 약 3.4km/h의 속도편차를 보였다(참조 Tables 3.10~3.11과 Figure 3.17). 결과적으로 남해고속도로에서는 방향별 차로별로 뚜렷한 속도차이를 확인할 수 있었다.

Table 3.10 Speed analysis in EX-10(km/h, %)

Expressway	Statistics	EB		WB	
		U	Shift	U	Shift
EX-10	Max	111	+6	105	+4
	Min	95	-10	92	-9
	Avg	105	-	101	-
	SD	4.1		4.1	
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	109	+3	103	+2

Table 3.11 Speed analysis by lane in EX-10(km/h)

Direction	Statistics	U_1	U_2	U_3	U_4
EX-10(EB)	Max	130	113	105	93
	Min	122	108	92	81
	Avg	125	110	100	87
	SD	2.2	1.4	3.4	3.5
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	122	109	103	92
EX-10(WB)	Max	124	110	101	88
	Min	115	103	90	77
	Avg	118	106	97	84
	SD	2.3	1.4	3.4	3.4
	AM-Peak	115	104	98	86
	PM-Peak	-	-	-	-

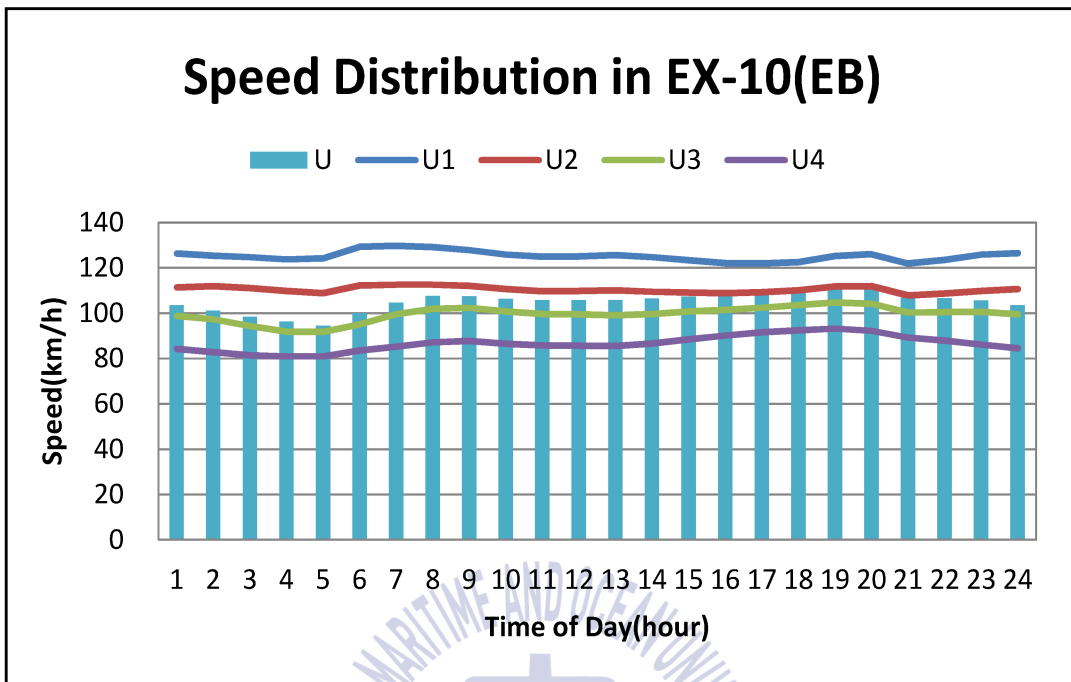


Figure 3.16 Speed distribution in EX-10(EB)

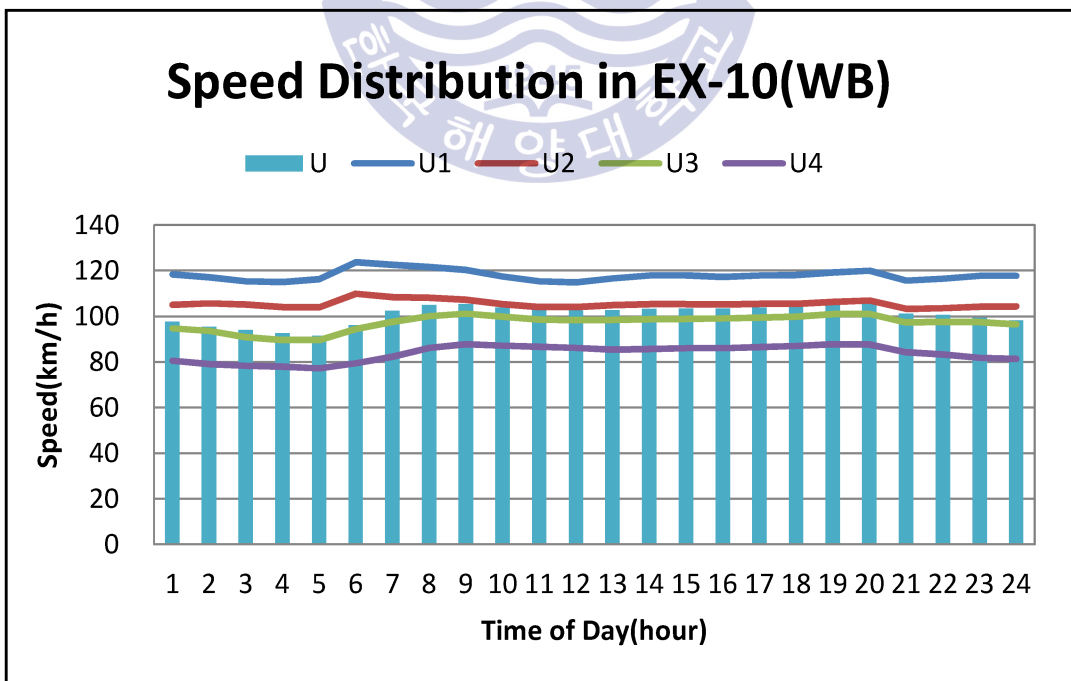


Figure 3.17 Speed distribution in EX-10(WB)

결과적으로 지정차로제가 시행중인 경부고속도로와 남해고속도로에서는 요일별 시간별 차로별 속도분포와 편차에서 뚜렷한 차이가 확인되었다. 특히, 경부고속도로에서는 오후에 통행량이 증가하면서 차로에 관계없이 북쪽방향보다는 남쪽방향에서 속도가 낮게 나타났다. 반면 남해고속도로에서는 동쪽방향보다는 서쪽방향에서 오전에 통행량이 증가하면서 속도가 감소하는 것으로 나타났다. 더구나 고속도로의 통행량이 적을 때는 아래의 Figure 3.18에서 보여주듯이 지정차로별 속도분포가 1, 2차로에서 각각 약 100km/h~140km/h와 약 90km/h~120km/h로 나타났고 3, 4차로에서 각각 약 80km/h~110km/h와 약 60km/h~100km/h로 나타났지만, 고속도로의 통행량이 증가하면서 속도분포가 점차 줄어드는 것으로 나타났다. 그러므로 고속도로시설의 효율성 개선을 위해서는 고속도로의 방향별 요일별 시간별 그리고 차로별 통행량 집중정도에 기초하여 첨단 여행자 정보체계(ATIS)와 첨단 여행자 관리체계(ATMS)를 포함한 고속도로 교통관리체계(FTMS)구축을 검토할 필요가 있다고 생각하였다.

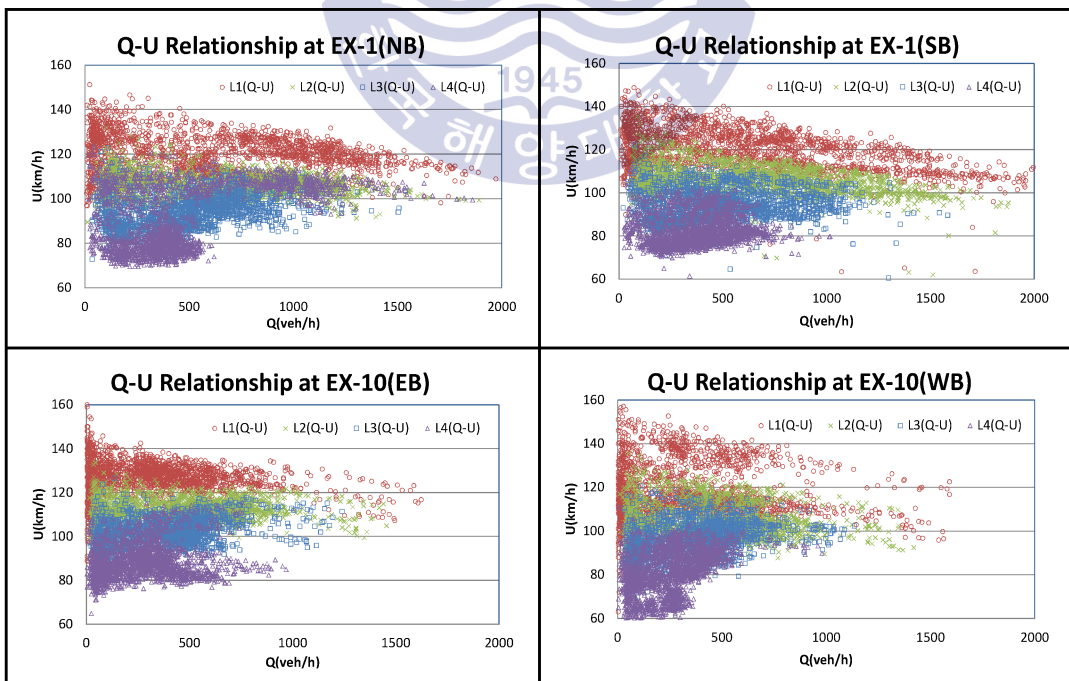


Figure 3.18 Flow-speed relationship on designated lanes of EX-1 and EX-10

3.2.3 점유율 분석

점유율(occupancy)란 차량이 검지기를 점유하고 있는 시간의 상대비율을 의미하고, 단위는 percent(%)로 표현하며, 다음과 같은 계산과정을 거쳐 점유율 분석에 사용하였다(May, 1990).

$$O = \frac{\sum_{i=1}^N (t_o)_i}{t} \quad (3.3)$$

여기서,

- O : mean occupancy(%)
- $(t_o)_i$: time that detector is occupied by i -th vehicle(sec)
- N : number of vehicles detected for 1hour at station(veh)
- t : unit time period(1hour)

연구대상 고속도로의 점유율을 비교한 결과, 아래의 Figures 3.19~3.22에서 보여주듯이 방향별 요일별 시간별 그리고 차로별 점유율에서 뚜렷한 차이를 확인할 수 있었다.

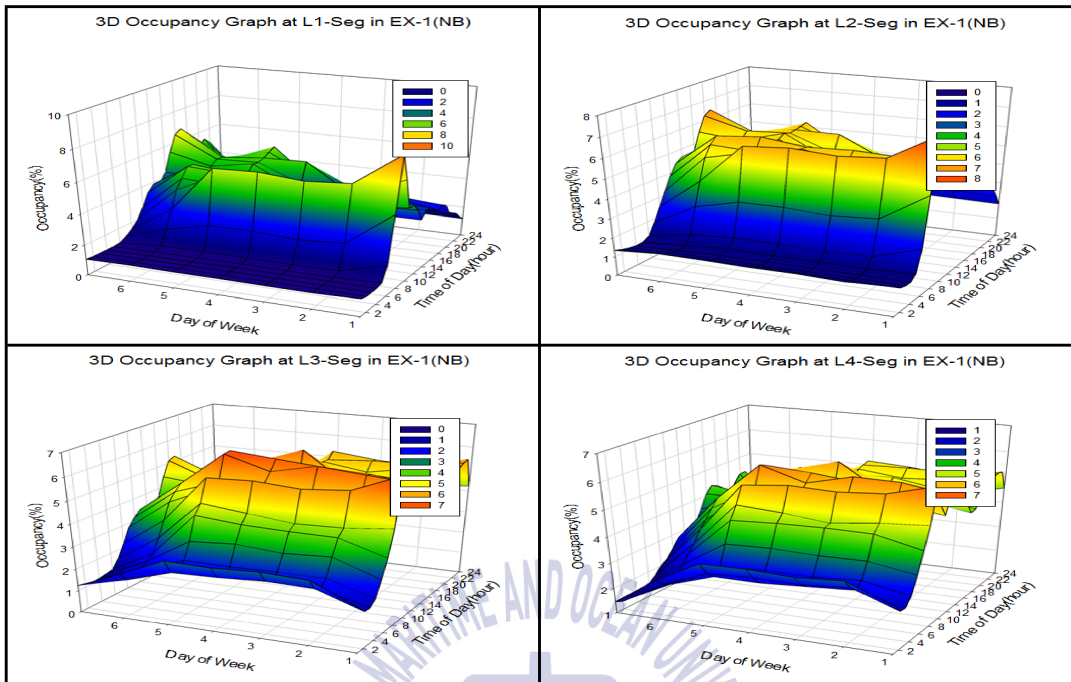


Figure 3.19 3D Occupancy graph by lane in EX-1(NB)

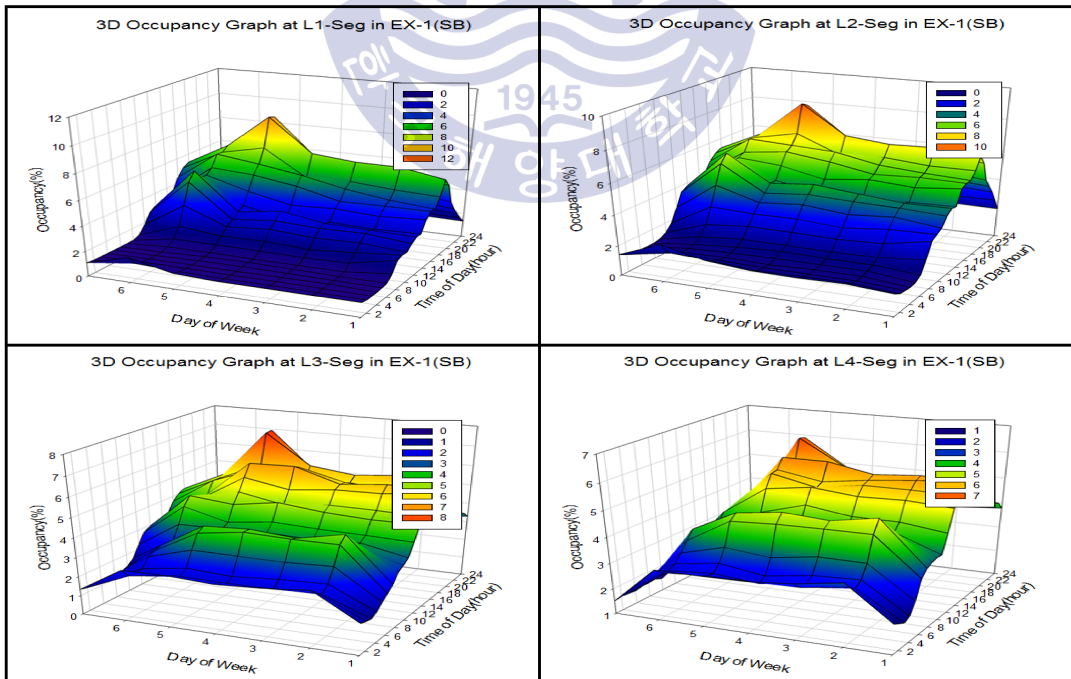


Figure 3.20 3D Occupancy graph by lane in EX-1(SB)

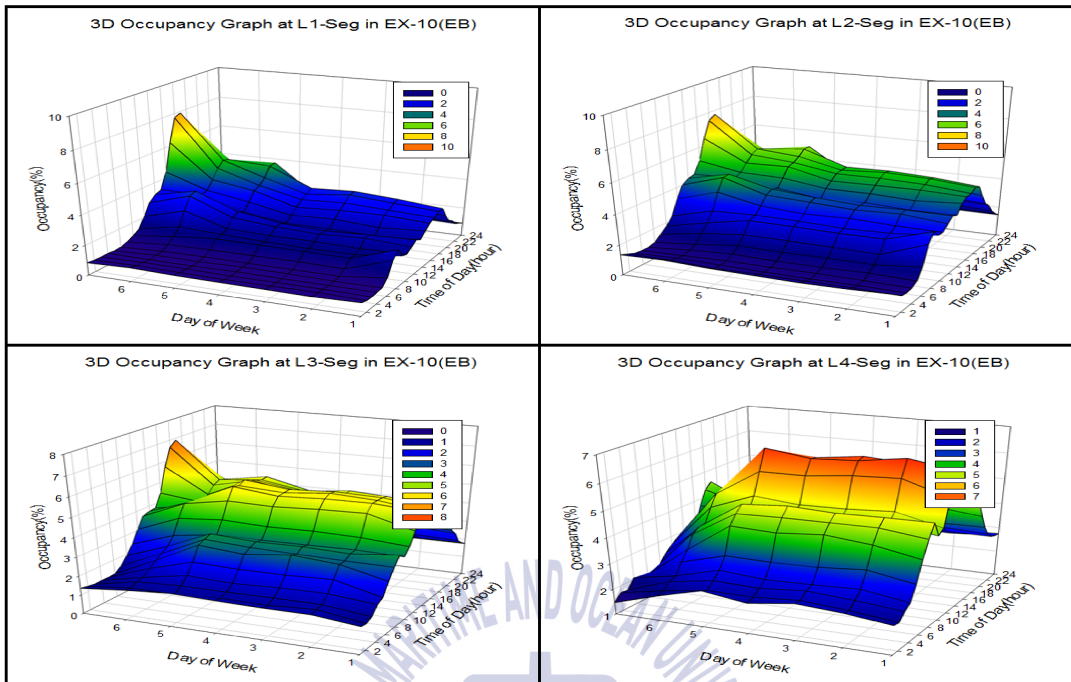


Figure 3.21 3D Occupancy graph by lane in EX-10(EB)

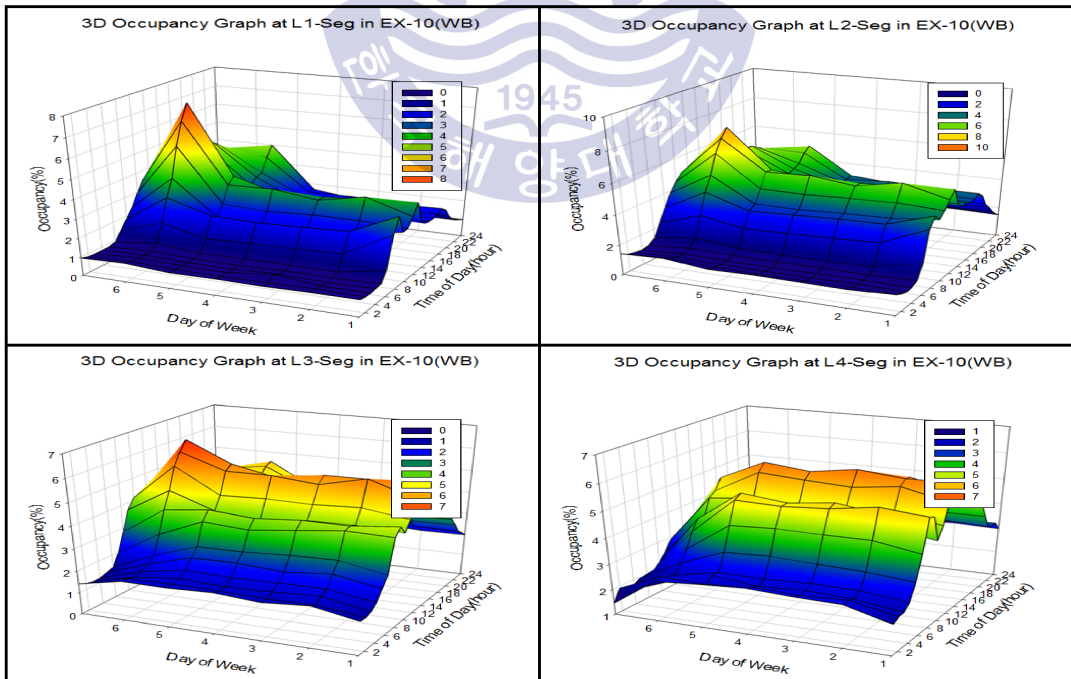


Figure 3.22 3D Occupancy graph by lane in EX-10(WB)

우선적으로 경부고속도로의 북쪽방향에서 점유율을 살펴보면, 오후 첨두시간대 점유율이 약 5.1%로 평균점유율 약 3.9%에 비해 약 29%정도 높게 나타나면서 약 1.3%의 점유율편차를 보였다. 특히, 고속도로의 차로별 점유율을 비교해보면, 고속도로의 추월차로인 1차로에서는 오후 첨두시간대 점유율이 약 5.0%로 평균점유율 약 3.4%에 비해 약 1.6%정도 높게 나타나면서 약 1.6%의 점유율편차를 보였고, 소형차 주행차로인 2차로에서도 오후 첨두시간대 점유율이 약 5.4%로 평균점유율 약 3.9%에 비해 1.5%정도 높게 나타나면서 약 1.7%의 점유율편차를 보였다. 또한 중형차 주행차로인 3차로에서는 오후 첨두시간대 점유율이 약 5.0%로 평균점유율 약 4.2%에 비해 약 0.8%정도 높게 나타나면서 약 1.1%의 점유율편차를 보였고, 대형차 주행차로인 4차로에서도 오후 첨두시간대 점유율이 약 4.8%로 평균점유율 약 4.3%에 비해 약 0.5%정도 높게 나타나면서 약 0.8%의 점유율편차를 보였다(참조 Tables 3.12~3.13과 Figure 3.23).

반면 경부고속도로의 남쪽방향에서 점유율을 살펴보면, 오후 첨두시간대 점유율이 약 6.5%로 평균점유율 약 3.8%에 비해 약 73%정도 높게 나타나면서 약 1.4%의 점유율편차를 보였다. 특히, 고속도로의 차로별 점유율을 비교해보면, 고속도로의 추월차로인 1차로에서는 오후 첨두시간대 점유율이 약 7.2%로 평균점유율 약 3.3%에 비해 약 3.9%정도 높게 나타나면서 약 1.9%정도의 점유율편차를 보였고, 소형차 주행차로인 2차로에서도 오후 첨두시간대 점유율이 약 6.9%로 평균점유율 약 3.7%에 비해 약 3.2%정도 높게 나타나면서 약 1.8%의 점유율편차를 보였다. 또한 중형차 주행차로인 3차로에서는 오후 첨두시간대 점유율이 약 5.8%로 평균점유율 약 3.9%에 비해 약 1.9%정도 높게 나타나면서 약 1.1%의 점유율편차를 보였고, 대형차 주행차로인 4차로에서도 오후 첨두시간대 점유율이 약 5.0%로 평균점유율 약 4.0%에 비해 약 1%정도 높게 나타나면서 약 0.8%의 점유율편차를 보였다(참조 Tables 3.12~3.13과 Figure 3.24). 결과적으로 경부고속도로의 점유율에서는 방향별 차로별로 뚜렷한 차이를 확인할 수 있었다.

Table 3.12 Occupancy analysis in EX-1(%)

Expressway	Statistics	NB		SB	
		<i>O</i>	Shift	<i>O</i>	Shift
EX-1	Max	5.7	+46	6.5	+73
	Min	1.7	-56	1.8	-52
	Avg	3.9	-	3.8	-
	SD	1.3		1.4	
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	5.1	+29	6.5	+73

Table 3.13 Occupancy analysis by lane in EX-1(%)

Direction	Statistics	<i>O</i> ₁	<i>O</i> ₂	<i>O</i> ₃	<i>O</i> ₄
EX-1(NB)	Max	6.1	5.9	5.5	5.3
	Min	1.0	1.1	1.9	2.5
	Avg	3.4	3.9	4.2	4.3
	SD	1.6	1.7	1.1	0.8
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	5.0	5.4	5.0	4.8
EX-1(SB)	Max	7.2	6.9	5.8	5.2
	Min	1.1	1.3	2.1	2.6
	Avg	3.3	3.7	3.9	4.0
	SD	1.9	1.8	1.1	0.8
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	7.2	6.9	5.8	5.0

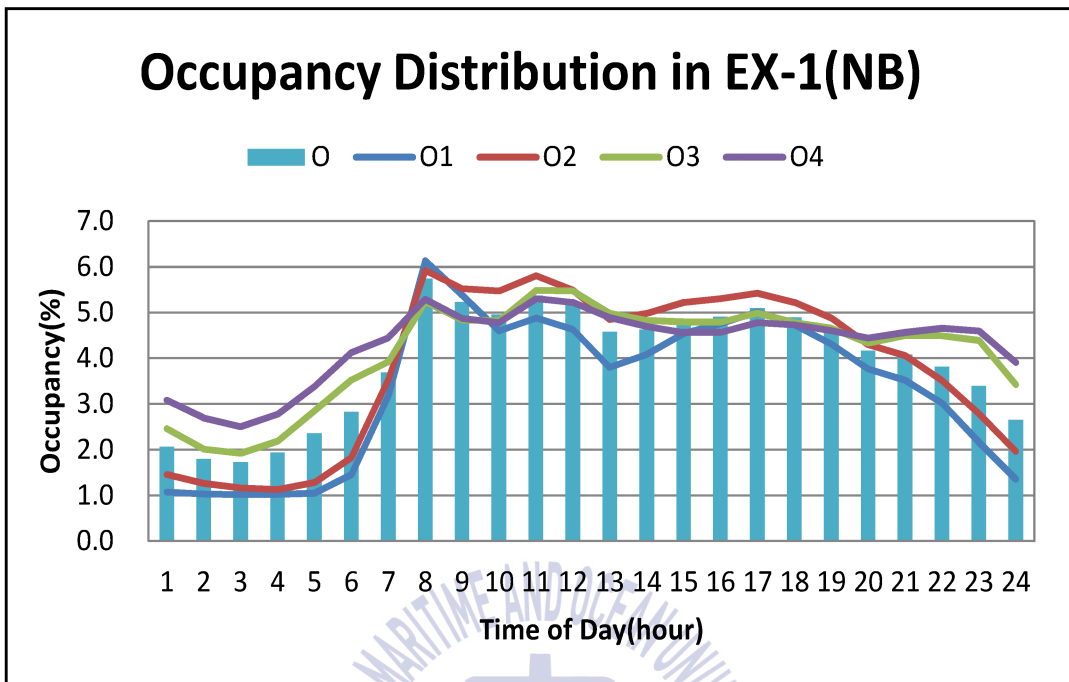


Figure 3.23 Occupancy distribution in EX-1(NB)

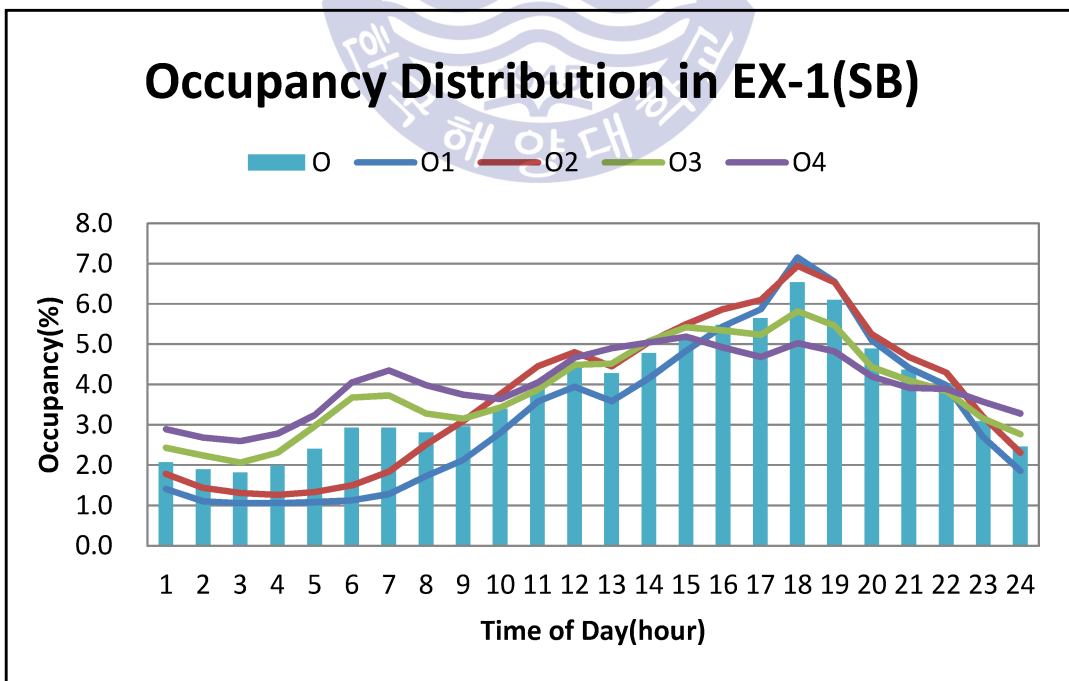


Figure 3.24 Occupancy distribution in EX-1(SB)

다음으로 남해고속도로의 동쪽방향에서 점유율을 살펴보면, 오후 첨두시간대 점유율이 약 5.2%로 평균점유율 약 3.3%에 비해 약 59%정도 높게 나타나면서 약 1.2%의 점유율편차를 보였다. 특히, 고속도로의 차로별 점유율을 비교해보면, 고속도로의 추월차로인 1차로에서는 오후 첨두시간대 점유율이 약 4.9%로 평균점유율 약 2.3%에 비해 약 2.6%정도 높게 나타나면서 약 1.3%의 점유율편차를 보였고, 소형차 주행차로인 2차로에서도 오후 첨두시간대 점유율이 약 5.7%로 평균점유율 약 3.2%에 비해 2.5%정도 높게 나타나면서 약 1.5%의 점유율편차를 보였다. 또한 중형차 주행차로인 3차로에서는 오후 첨두시간대 점유율이 약 5.4%로 평균점유율 약 3.5%에 비해 약 1.9%정도 높게 나타나면서 약 1.3%의 점유율편차를 보였고, 대형차 주행차로인 4차로에서도 오후 첨두시간대 점유율이 약 4.7%로 평균점유율 약 3.9%에 비해 약 0.8%정도 높게 나타나면서 약 1.2%의 점유율편차를 보였다(참조 Tables 3.14~3.15과 Figure 3.25).

반면 남해고속도로의 서쪽방향에서 점유율을 살펴보면, 오전 첨두시간대 점유율이 약 5.4%로 평균점유율 약 3.4%에 비해 약 60%정도 높게 나타나면서 약 1.2%의 점유율편차를 보였다. 특히, 고속도로의 차로별 점유율을 비교해보면, 고속도로의 추월차로인 1차로에서는 오전 첨두시간대 점유율이 약 4.7%로 평균점유율 약 2.5%에 비해 약 2.2%정도 높게 나타나면서 약 1.2%정도의 점유율편차를 보였고, 소형차 주행차로인 2차로에서도 오전 첨두시간대 점유율이 약 5.9%로 평균점유율 약 3.4%에 비해 약 2.5%정도 높게 나타나면서 약 1.6%의 점유율편차를 보였다. 또한 중형차 주행차로인 3차로에서는 오전 첨두시간대 점유율이 약 5.7%로 평균점유율 약 3.5%에 비해 약 2.2%정도 높게 나타나면서 약 1.3%의 점유율편차를 보였고, 대형차 주행차로인 4차로에서도 오전 첨두시간대 점유율이 약 5.5%로 평균점유율 약 3.9%에 비해 약 1.6%정도 높게 나타나면서 약 1.0%의 점유율편차를 보였다(참조 Tables 3.14~3.15과 Figure 3.26). 결과적으로 경부고속도로의 점유율에서는 방향별 차로별로 뚜렷한 차이를 확인할 수 있었다.

Table 3.14 Occupancy analysis in EX-10(%)

Expressway	Statistics	EB		WB	
		<i>O</i>	Shift	<i>O</i>	Shift
EX-10	Max	5.2	+59	5.4	+60
	Min	1.5	-54	1.7	-51
	Avg	3.3	-	3.4	-
	SD	1.2		1.2	
	AM-Peak	-	-	5.4	+60
	PM-Peak	5.2	+59	-	-

Table 3.15 Occupancy analysis by lane in EX-10(%)

Direction	Statistics	<i>O</i> ₁	<i>O</i> ₂	<i>O</i> ₃	<i>O</i> ₄
EX-10(EB)	Max	4.9	5.7	5.4	5.9
	Min	0.8	1.0	1.5	2.2
	Avg	2.3	3.2	3.5	3.9
	SD	1.3	1.5	1.3	1.2
	AM-Peak	-	-	-	-
	PM-Peak	4.9	5.7	5.4	4.7
EX-10(WB)	Max	4.7	5.9	5.7	5.5
	Min	0.8	1.1	1.7	2.5
	Avg	2.5	3.4	3.5	3.9
	SD	1.2	1.6	1.3	1.0
	AM-Peak	4.7	5.9	5.7	5.5
	PM-Peak	-	-	-	-

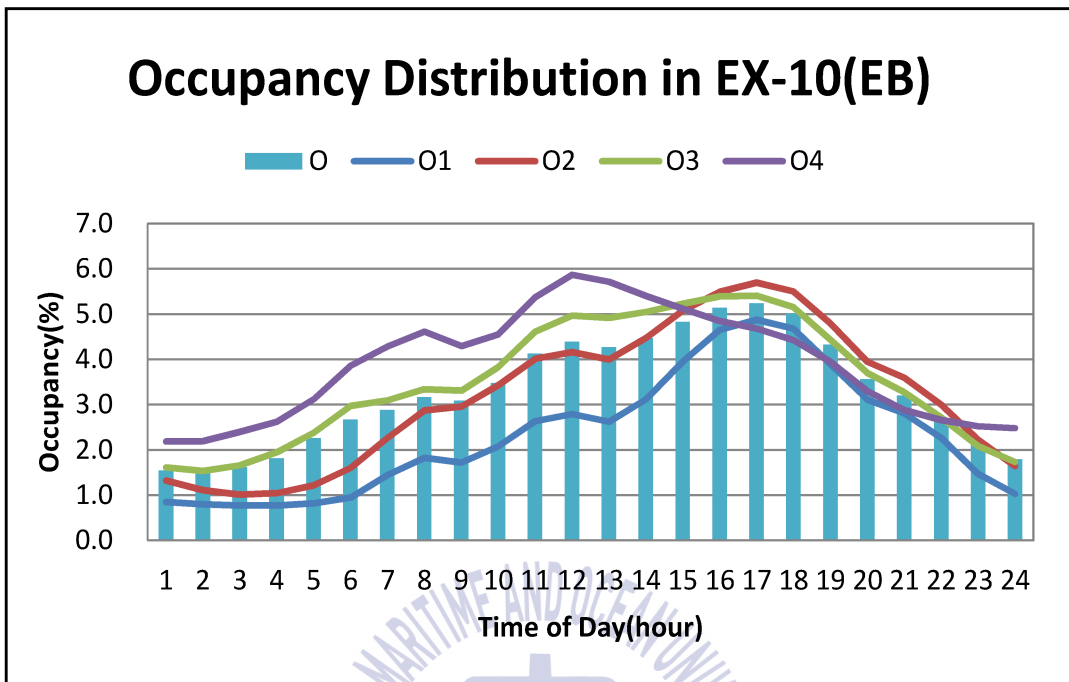


Figure 3.25 Occupancy distribution in EX-10(EB)

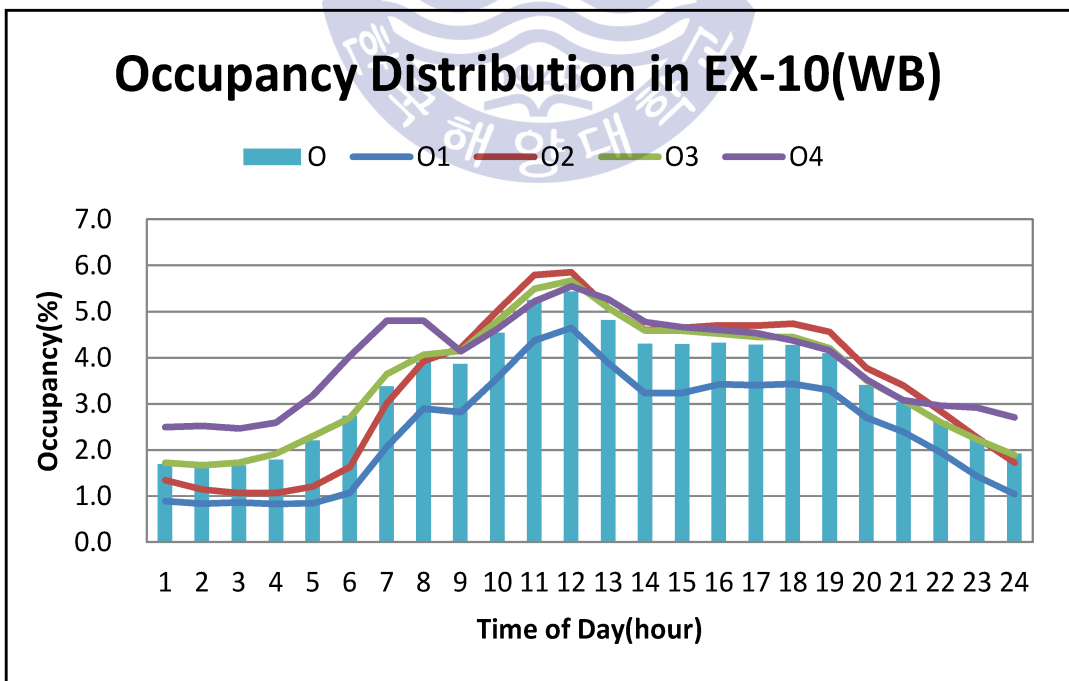


Figure 3.26 Occupancy distribution in EX-10(WB)

결과적으로 지정차로제가 시행중인 경부고속도로와 남해고속도로에서는 방향별 요일별 시간별 그리고 차로별 점유율분포와 편차에서 뚜렷한 차이가 확인되었다. 특히, 경부고속도로에서는 방향과 차로에 관계없이 오후에 첨두 점유율을 보이는 것으로 나타났다. 반면 남해고속도로의 동쪽방향에서는 차로에 관계없이 오후에 첨두 점유율을 보였고 서쪽방향에서는 차로에 관계없이 오전에 첨두 점유율을 보이는 것으로 나타났다. 그러므로 고속도로시설의 효율성 개선을 위해서는 고속도로의 방향별 요일별 시간별 그리고 차로별 통행량 집중정도에 기초하여 첨단 여행자 정보체계(ATIS)와 첨단 여행자 관리체계(ATMS)를 포함한 고속도로 교통관리체계(FTMS)구축을 검토할 필요가 있다고 생각하였다.



3.2.4 통행시간 및 지체 분석

통행시간(travel time)이란 도로구간을 통행하는 차량의 평균소요시간을 의미하고, 지체(delay)란 도로구간 내 통행시간지체로서 운전자의 통제할 수 없는 원인으로 인해 발생하는 차량의 평균손실시간을 의미한다. 그리고 통행시간 및 지체의 단위는 second(sec)로 표현되며, 다음과 같은 계산과정을 거쳐 통행시간 및 지체분석에 사용하였다.

$$T = \frac{3.6 \times L \times \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{u_i}}{\sum_{i=1}^n N_i} \quad (3.5)$$

$$T_{85} = \frac{3.6 \times L}{U_{85}} \quad (3.6)$$

$$D = T - T_{85} \quad (3.7)$$

$$D = 3.6 \times L \times \left(\frac{1}{U} - \frac{1}{U_{85}} \right) \text{ if } U < U_{85} \quad (3.8)$$

$$= 0 \text{ otherwise}$$

여기서,

T : mean travel time taken by a vehicle to traverse a unit segment of a highway(sec)

T_{85} : mean travel time taken by a vehicle to traverse a unit segment of a highway by 85th percentile speed(sec)

n : no. of stations at a unit segment(1km)

U : space mean speed at a unit segment(km/h)

U_{85} : 85th percentile speed at a unit segment(km/h)

D : difference between actual travel time and ideal travel time

at a unit segment(sec)

L : distance of unit segment(1km)

연구대상 고속도로구간의 85번째 백분위속도에 근거한 통행시간 및 지체를 비교한 결과, 아래의 Figures 3.27~3.30에서 보여주듯이 방향별 요일별 시간별로 통행시간 및 지체에서 뚜렷한 차이를 확인할 수 있었다.

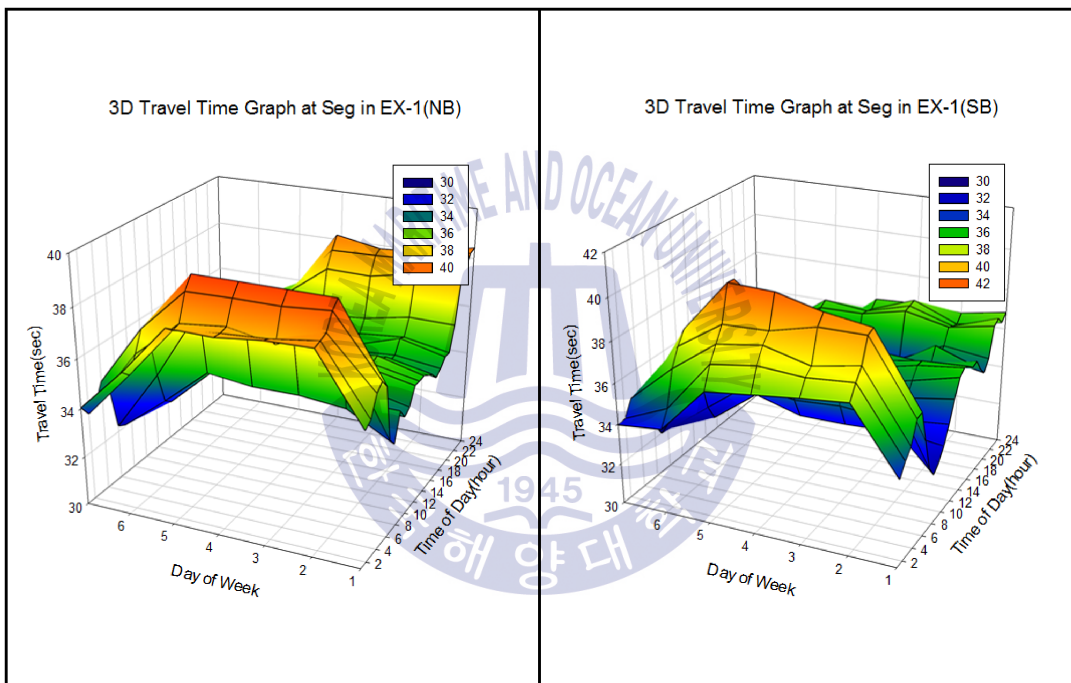


Figure 3.27 3D Travel time graph in EX-1

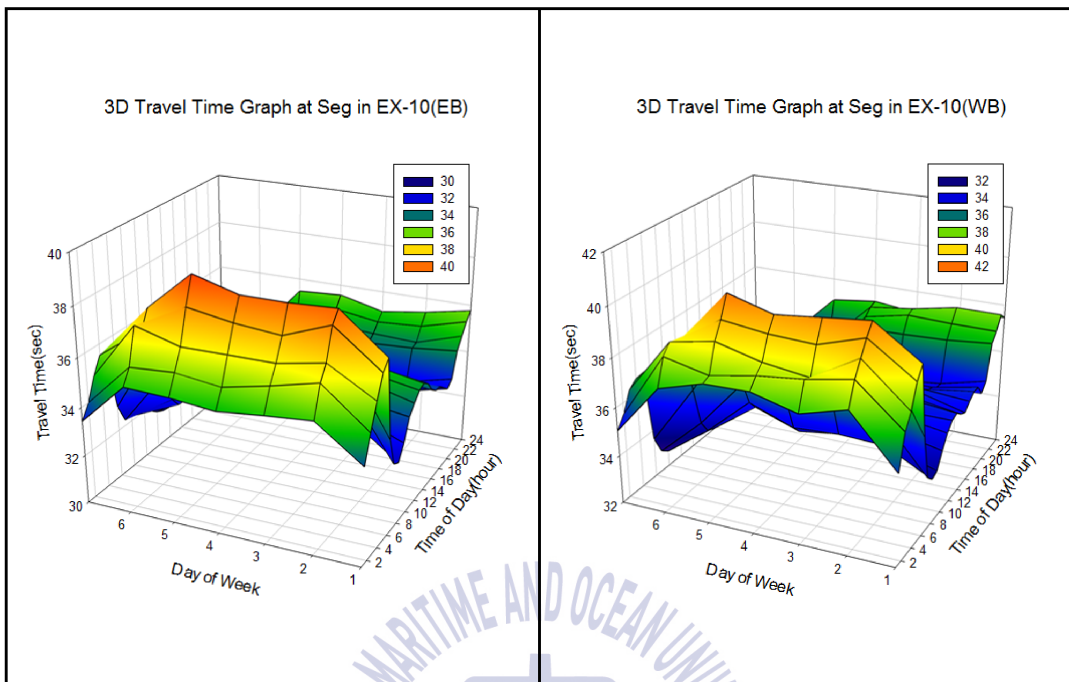


Figure 3.28 3D Travel time graph in EX-10

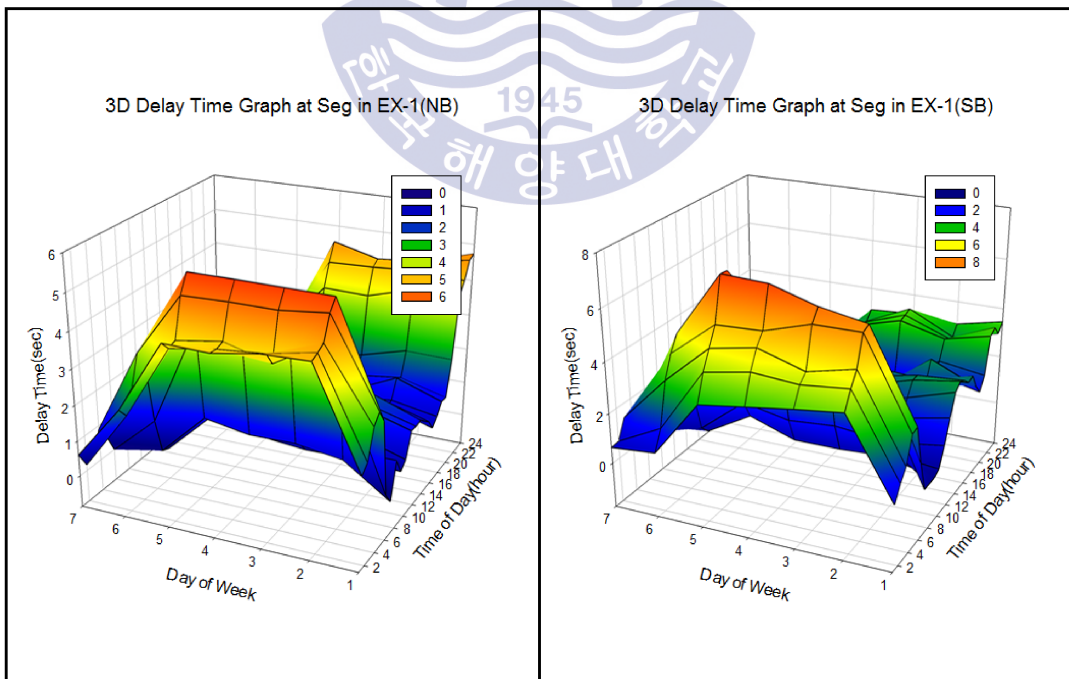


Figure 3.29 3D Delay graph in EX-1

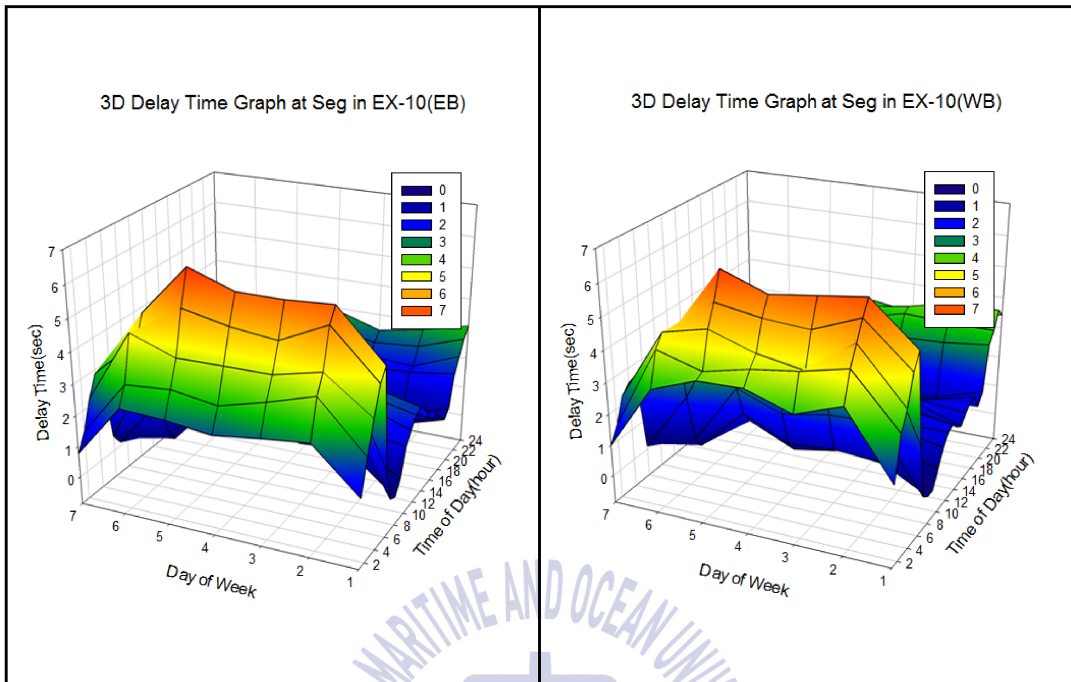


Figure 3.30 3D Delay graph in EX-10

우선적으로 경부고속도로의 북쪽방향에서 통행시간 및 지체를 살펴보면, 오후 첨두시간대 통행시간은 약 35초로 평균통행시간 약 35초와 미미한 편차를 보였고, 지체도 약 1.1초로 평균지체 약 1.9초보다 다소 작은 편차를 보였다. 특히, 고속도로의 차로별 통행시간 및 지체를 살펴보면, 오후 첨두시간대 추월 차로인 1차로에서 통행시간은 약 31초로 평균통행시간 약 30초보다 다소 작은 편차를 보였고 지체는 1.8초로 평균지체 약 1.2초보다 다소 큰 편차를 보였으며, 소형차로인 2차로에서 통행시간은 약 34초로 평균통행시간 약 34초보다 다소 작은 편차를 보였고 지체는 약 1.2초로 평균지체 약 1.1초보다 다소 큰 편차를 보였다. 또한 오후 첨두시간대 중형차로인 3차로에서 통행시간은 약 37초로 평균통행시간 약 38초보다 작은 편차를 보였고 지체는 약 1.4초로 평균지체 약 2.7초보다 작은 편차를 보였으며, 대형차로인 4차로에서 통행시간은 약 41초로 평균통행시간 약 43초보다 작은 편차를 보였고 지체는 약 1.9초로 평균지체 약 3.6초보다 작은 편차를 보였다(참조 Tables 3.16~3.17과 Figures

3.31, 3.33, 3.35).

반면 경부고속도로의 남쪽방향에서 통행시간 및 지체를 살펴보면, 오후 첨두시간대 통행시간은 약 35초로 평균통행시간 약 35초와 미미한 편차를 보였고, 지체도 약 1.8초로 평균지체 약 2.2초보다 작은 편차를 보였다. 특히, 고속도로의 차로별 통행시간 및 지체를 살펴보면, 오후 첨두시간대 추월차로인 1차로에서 통행시간은 약 31초로 평균통행시간 약 29초보다 큰 편차를 보였고 지체는 3.4초로 평균지체 약 1.6초보다 큰 편차를 보였으며, 소형차로인 2차로에서 통행시간은 약 35초로 평균통행시간 약 34초보다 다소 큰 편차를 보였고 지체는 약 2.2초로 평균지체 약 1.4초보다 다소 큰 편차를 보였다. 또한 오후 첨두시간대 중형차로인 3차로에서 통행시간은 약 36초로 평균통행시간 약 37초보다 작은 편차를 보였고 지체는 약 5.0초로 평균지체 약 4.6초보다 큰 편차를 보였으며, 대형차로인 4차로에서 통행시간은 약 42초로 평균통행시간 약 44초보다 작은 편차를 보였고 지체는 약 2.1초로 평균지체 약 3.6초보다 작은 편차를 보였다(참조 Tables 3.16~3.17과 Figures 3.32, 3.34, 3.36).

Table 3.16 Travel time and delay analyses in EX-1(sec, %)

Expressway	Statistics	NB				SB			
		<i>T</i>	Shift	<i>D</i>	Shift	<i>T</i>	Shift	<i>D</i>	Shift
EX-1	Max	38	+6	4.0	+110	38	+8	5.0	+134
	Min	34	-4	0.6	-71	33	-6	0.4	-83
	Avg	35	-	1.9	-	35	-	2.2	-
	SD	1.2		0.9		1.3		1.2	
	AM-Peak	-	-	-	-	-	-	-	-
	PM-Peak	35	-3	1.1	-52	315	-1	1.8	-18

Table 3.17 Travel time and delay analyses by lane in EX-1(sec)

Direction	Statistics	T_1	D_1	T_2	D_2	T_3	D_3	T_4	D_4
NB	Max	31	2.4	35	2.4	41	4.8	46	6.0
	Min	28	0.0	33	0.1	37	1.0	41	1.6
	Avg	30	1.2	34	1.1	38	2.7	43	3.6
	SD	0.8	0.7	0.7	0.6	1.4	1.3	1.9	1.7
	AM-Peak	—	—	—	—	—	—	—	—
	PM-Peak	31	1.8	34	1.2	37	1.4	41	1.9
SB	Max	31	3.4	35	2.8	40	7.6	47	6.4
	Min	28	0.1	32	0.2	35	1.0	42	1.9
	Avg	29	1.6	34	1.4	37	4.6	44	3.6
	SD	1.1	1.0	0.8	0.7	1.4	1.7	1.6	1.3
	AM-Peak	—	—	—	—	—	—	—	—
	PM-Peak	31	3.4	35	2.2	36	5.0	42	2.1

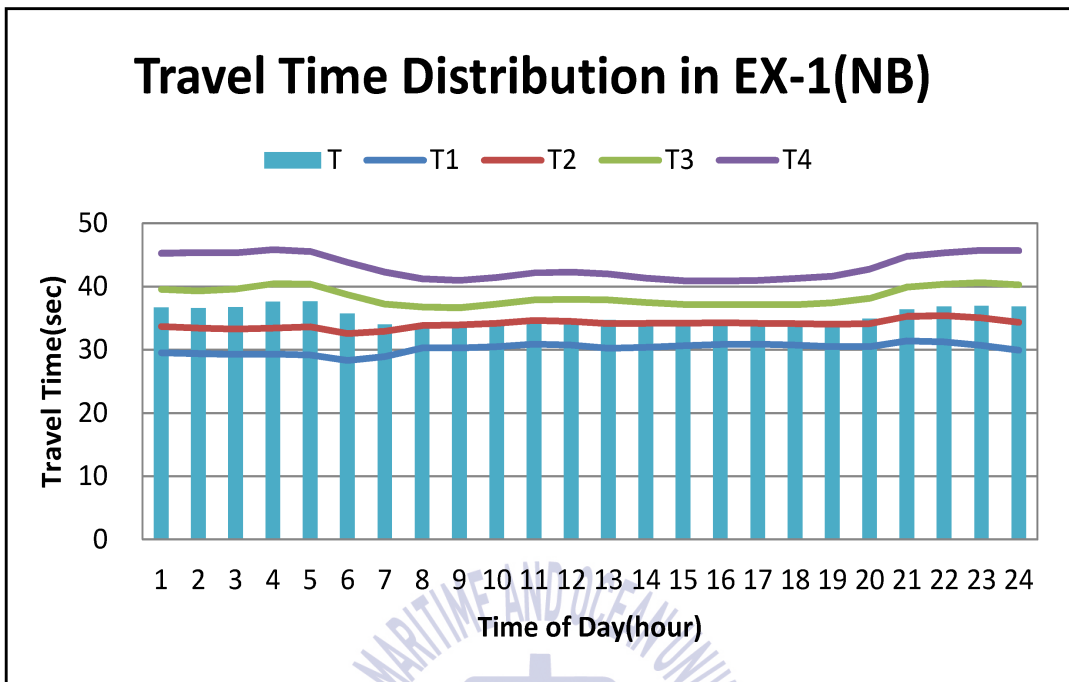


Figure 3.31 Travel time distribution in EX-1(NB)

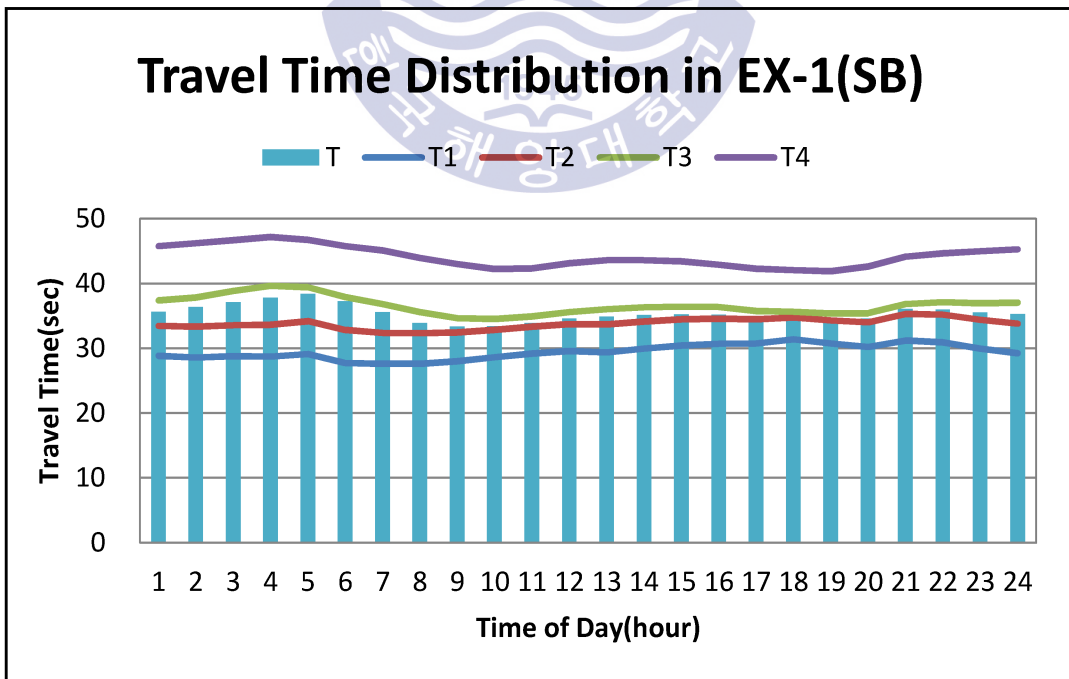


Figure 3.32 Travel time distribution in EX-1(SB)

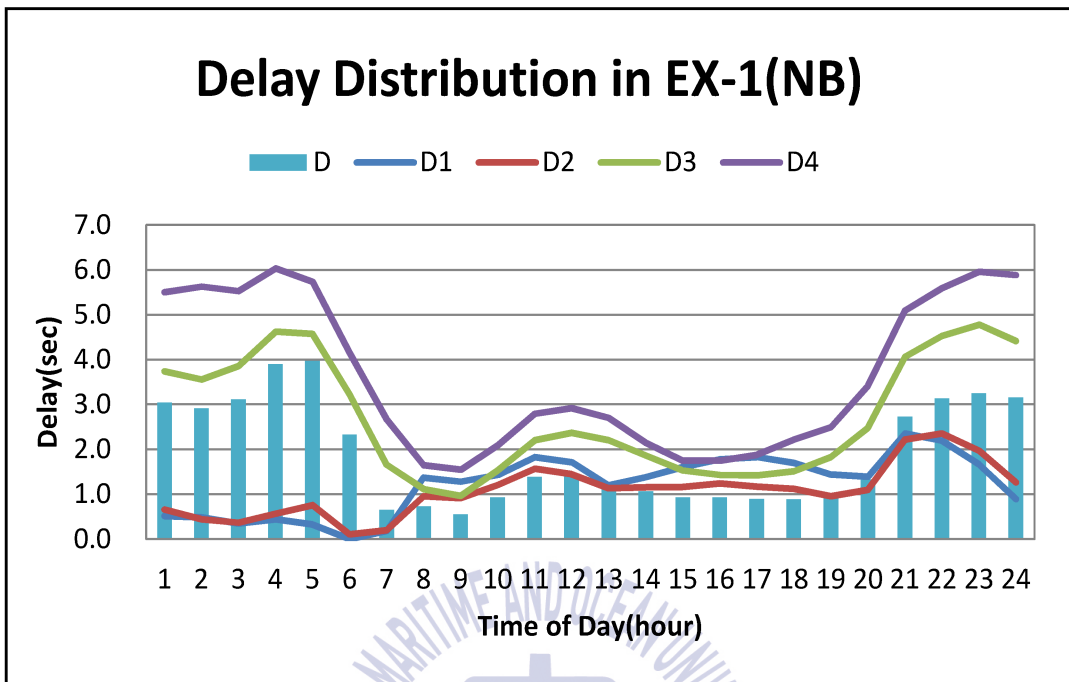


Figure 3.33 Delay distribution in EX-1(NB)

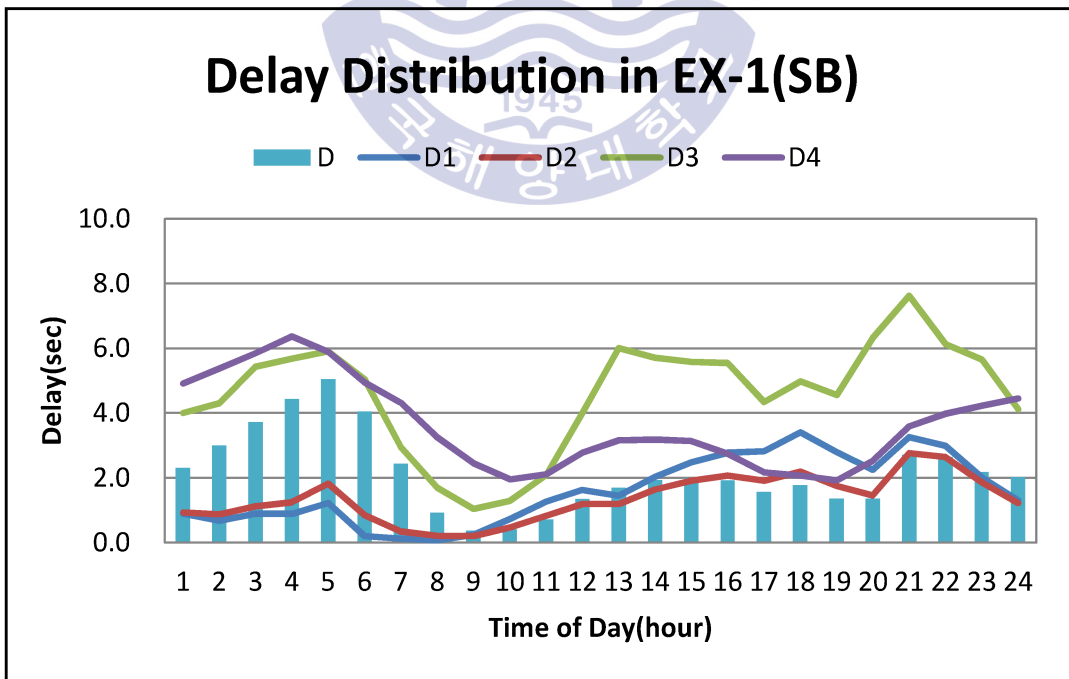


Figure 3.34 Delay distribution in EX-1(SB)

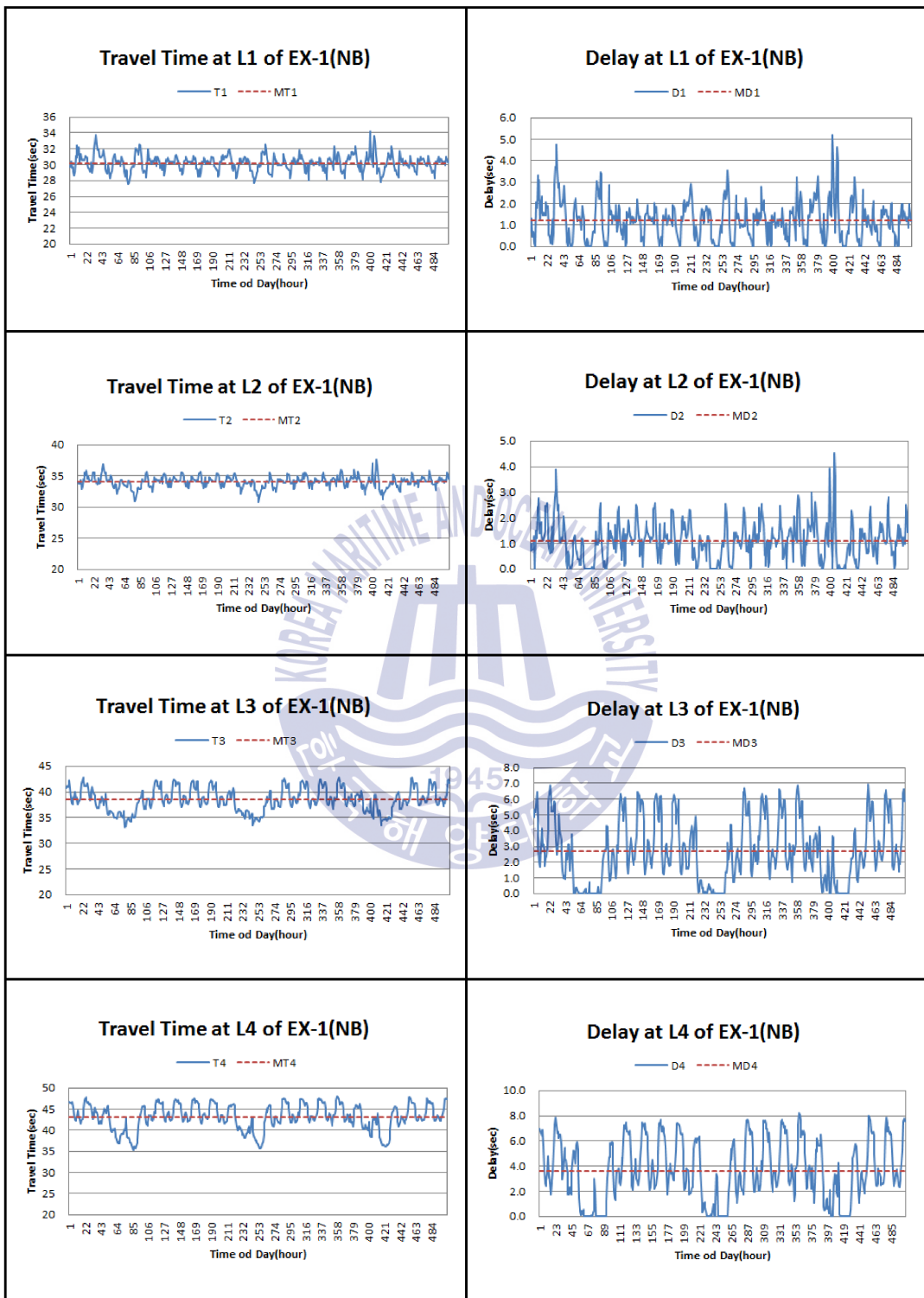


Figure 3.35 Travel time and delay variation by lane in EX-1(NB)

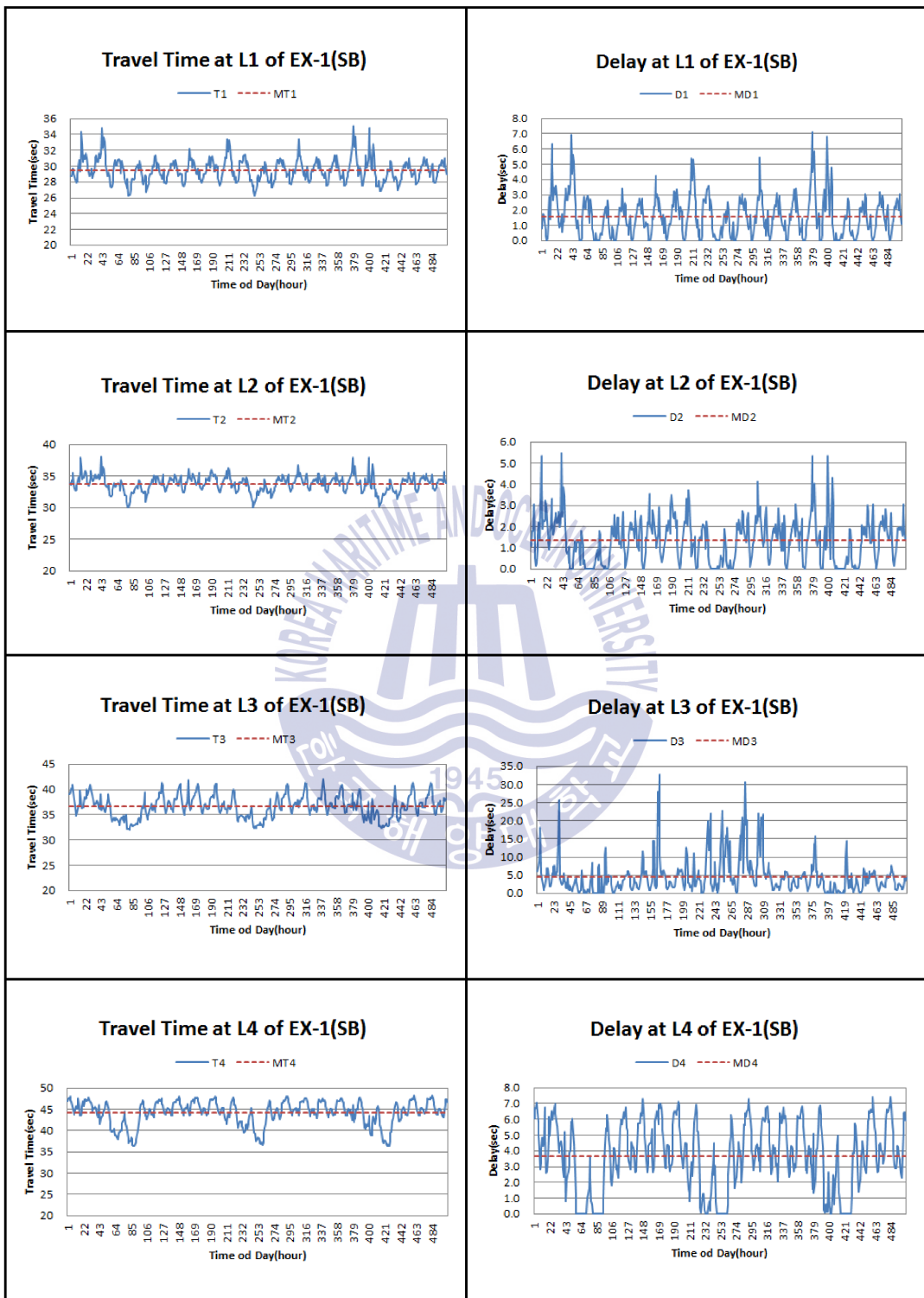


Figure 3.36 Travel time and delay variation by lane in EX-1(SB)

다음으로 남해고속도로의 동쪽방향에서 통행시간 및 지체를 살펴보면, 오후 첨두시간대 통행시간은 약 33초로 평균통행시간 약 34초와 작은 편차를 보였고, 지체도 약 0.7초로 평균지체 약 1.8초보다 작은 편차를 보였다. 특히, 고속도로의 차로별 통행시간 및 지체를 살펴보면, 오후 첨두시간대 추월차로인 1차로에서 통행시간은 약 29초로 평균통행시간 약 29초보다 다소 작은 편차를 보였고 지체는 1.6초로 평균지체 약 1.0초보다 다소 큰 편차를 보였으며, 소형차로인 2차로에서 통행시간은 약 33초로 평균통행시간 약 33초보다 다소 작은 편차를 보였고 지체는 약 1.2초로 평균지체 약 0.9초보다 다소 큰 편차를 보였다. 또한 오후 첨두시간대 중형차로인 3차로에서 통행시간은 약 35초로 평균통행시간 약 35초보다 작은 편차를 보였고 지체는 약 0.9초로 평균지체 약 1.8초보다 작은 편차를 보였으며, 대형차로인 4차로에서 통행시간은 약 40초로 평균통행시간 약 42초보다 작은 편차를 보였고 지체는 약 1.6초로 평균지체 약 3.0초보다 작은 편차를 보였다(참조 Tables 3.18~3.19과 Figures 3.37, 3.39, 3.41).

반면 남해고속도로의 서쪽방향에서 통행시간 및 지체를 살펴보면, 오전 첨두시간대 통행시간은 약 35초로 평균통행시간 약 36초와 작은 편차를 보였고, 지체도 약 1.2초로 평균지체 약 1.9초보다 작은 편차를 보였다. 특히 고속도로의 차로별 통행시간 및 지체를 살펴보면, 오전 첨두시간대 추월차로인 1차로에서 통행시간은 약 31초로 평균통행시간 약 31초와 편차를 안 보였고 지체는 1.5초로 평균지체 약 0.9초보다 다소 큰 편차를 보였으며, 소형차로인 2차로에서 통행시간은 약 35초로 평균통행시간 약 34초보다 다소 큰 편차를 보였고 지체는 약 1.2초로 평균지체 약 0.9초보다 다소 큰 편차를 보였다. 또한 오전 첨두시간대 중형차로인 3차로에서 통행시간은 약 37초로 평균통행시간 약 37초보다 작은 편차를 보였고 지체는 약 1.5초로 평균지체 약 1.9초보다 큰 편차를 보였으며, 대형차로인 4차로에서 통행시간은 약 42초로 평균통행시간 약 43초보다 작은 편차를 보였고 지체는 약 2.9초로 평균지체 약 3.6초보다 작은 편차를 보였다(참조 Tables 3.18~3.19와 Figures 3.38, 3.40, 3.42).

Table 3.18 Travel time and delay analyses in EX-10(sec, %)

Expressway	Statistics	EB				WB			
		T	Shift	D	Shift	T	Shift	D	Shift
EX-10	Max	38	+10	5.2	+188	39	+10	5.2	+176
	Min	33	-5	0.2	-90	34	-4	0.4	-79
	Avg	34	-	1.8	-	36	-	1.9	-
	SD	1.3		1.3		1.5		1.4	
	AM-Peak	-	-	-	-	35	-3	1.2	-38
	PM-Peak	33	-3	0.7	-62	-	-	-	-

Table 3.19 Travel time and delay analyses by lane in EX-10(sec)

Direction	Statistics	T_1	D_1	T_2	D_2	T_3	D_3	T_4	D_4
EB	Max	29	1.6	33	1.6	39	4.6	44	5.5
	Min	28	0.2	32	0.3	35	0.3	39	1.0
	Avg	29	1.0	33	0.9	35	1.8	42	3.0
	SD	0.5	0.4	0.4	0.4	1.0	1.1	1.5	1.2
	AM-Peak	-	-	-	-	-	-	-	-
	PM-Peak	29	1.6	33	1.2	35	0.9	40	1.6
WB	Max	31	1.7	35	1.5	40	4.8	47	7.2
	Min	29	0.1	33	0.1	36	0.5	41	2.0
	Avg	31	0.9	34	0.9	37	1.9	43	3.9
	SD	0.5	0.4	0.5	0.4	1.3	1.2	1.7	1.5
	AM-Peak	31	1.5	35	1.2	37	1.5	42	2.9
	PM-Peak	-	-	-	-	-	-	-	-

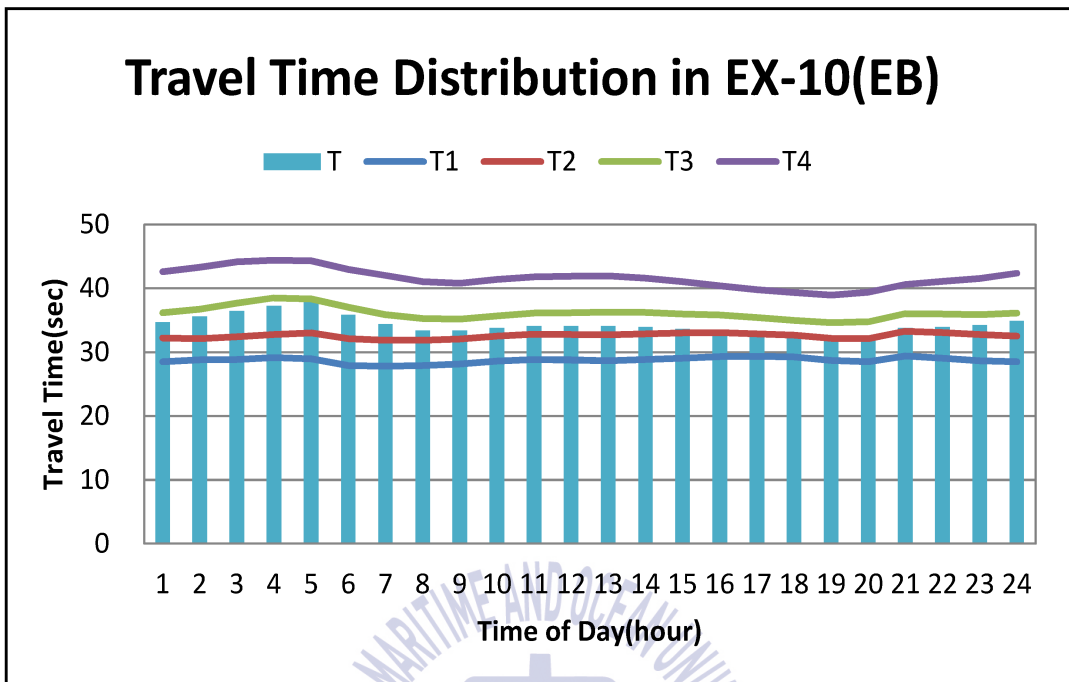


Figure 3.37 Travel time distribution in EX-10(EB)

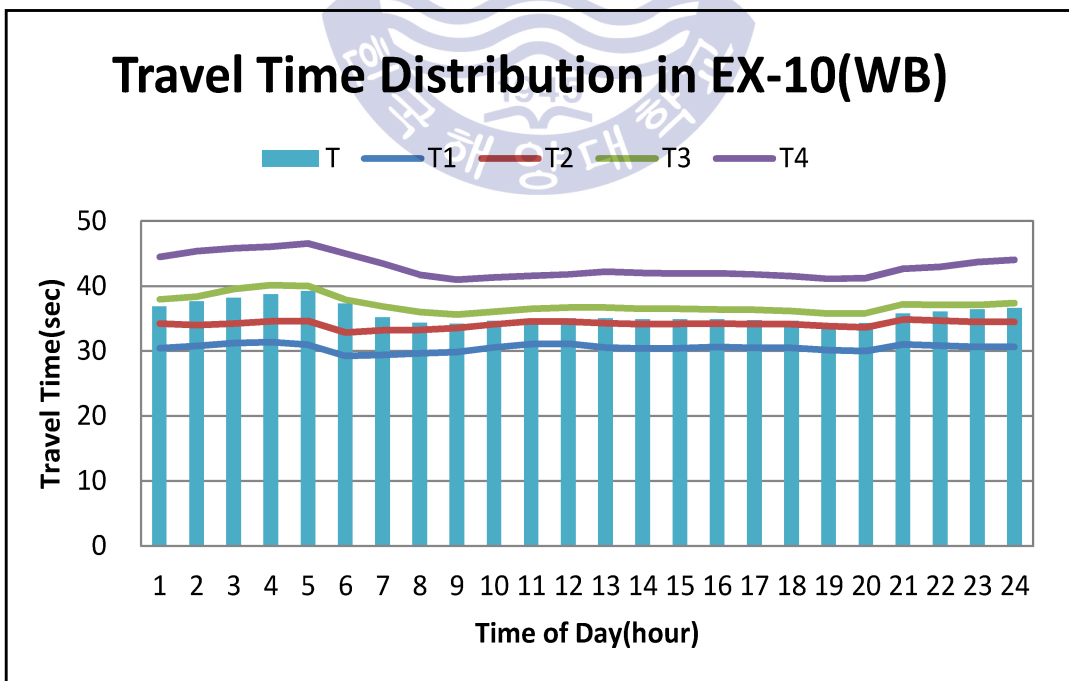


Figure 3.38 Travel time distribution in EX-10(WB)

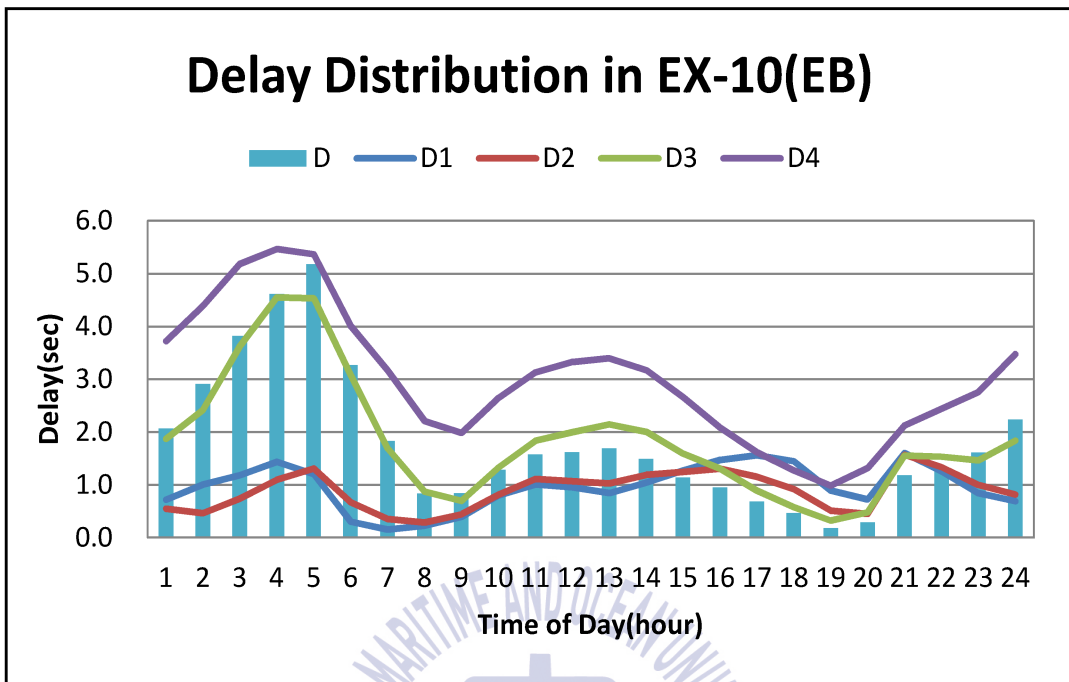


Figure 3.39 Delay distribution in EX-10(EB)

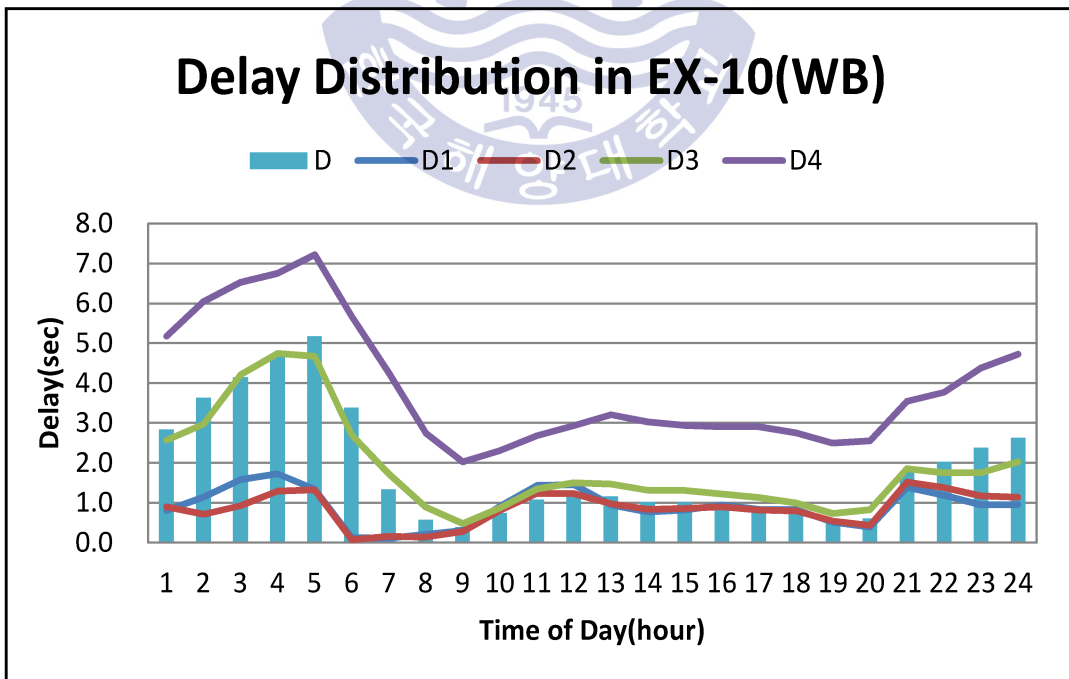


Figure 3.40 Delay distribution in EX-10(WB)

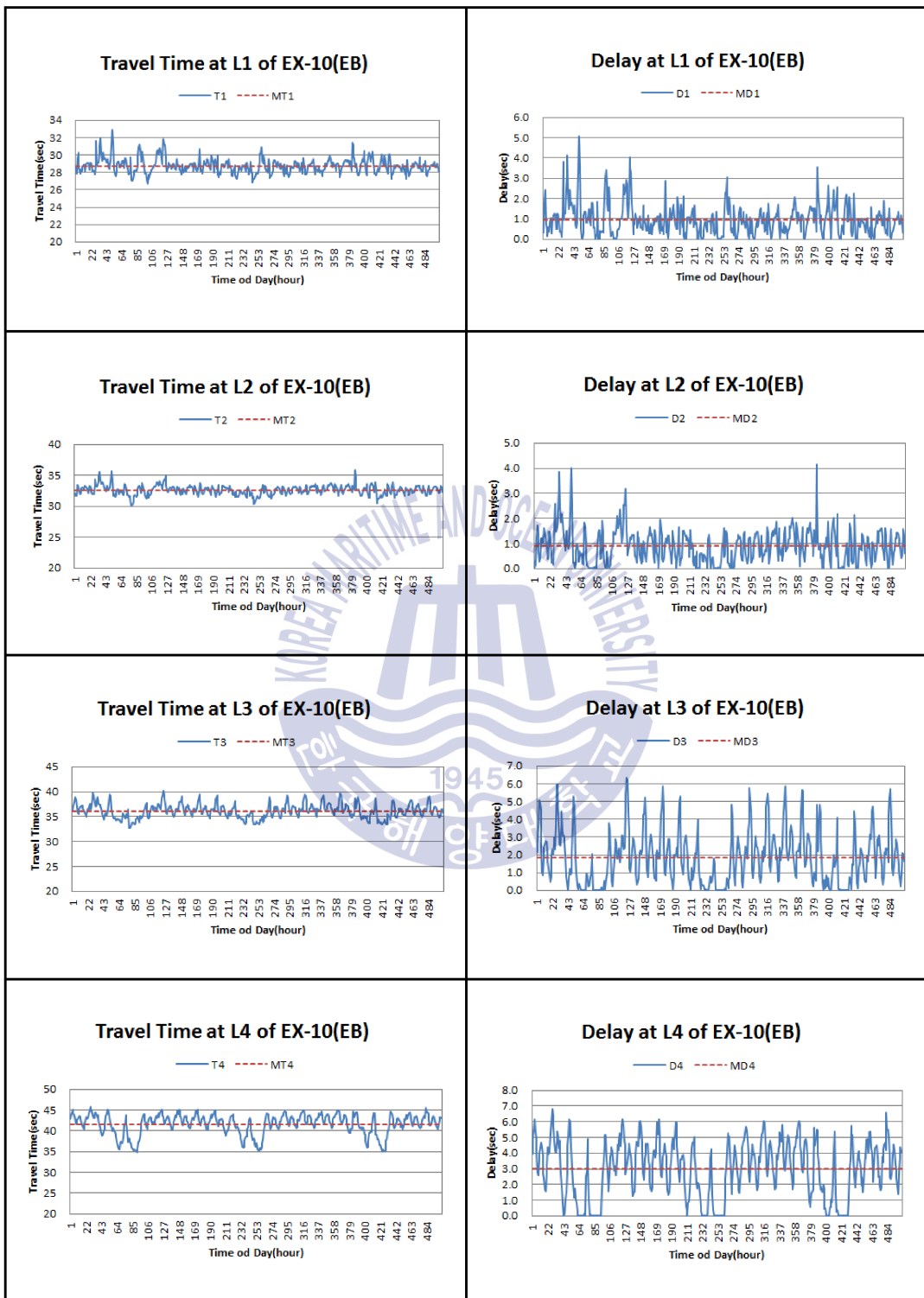


Figure 3.41 Travel time and delay variation by lane in EX-10(EB)

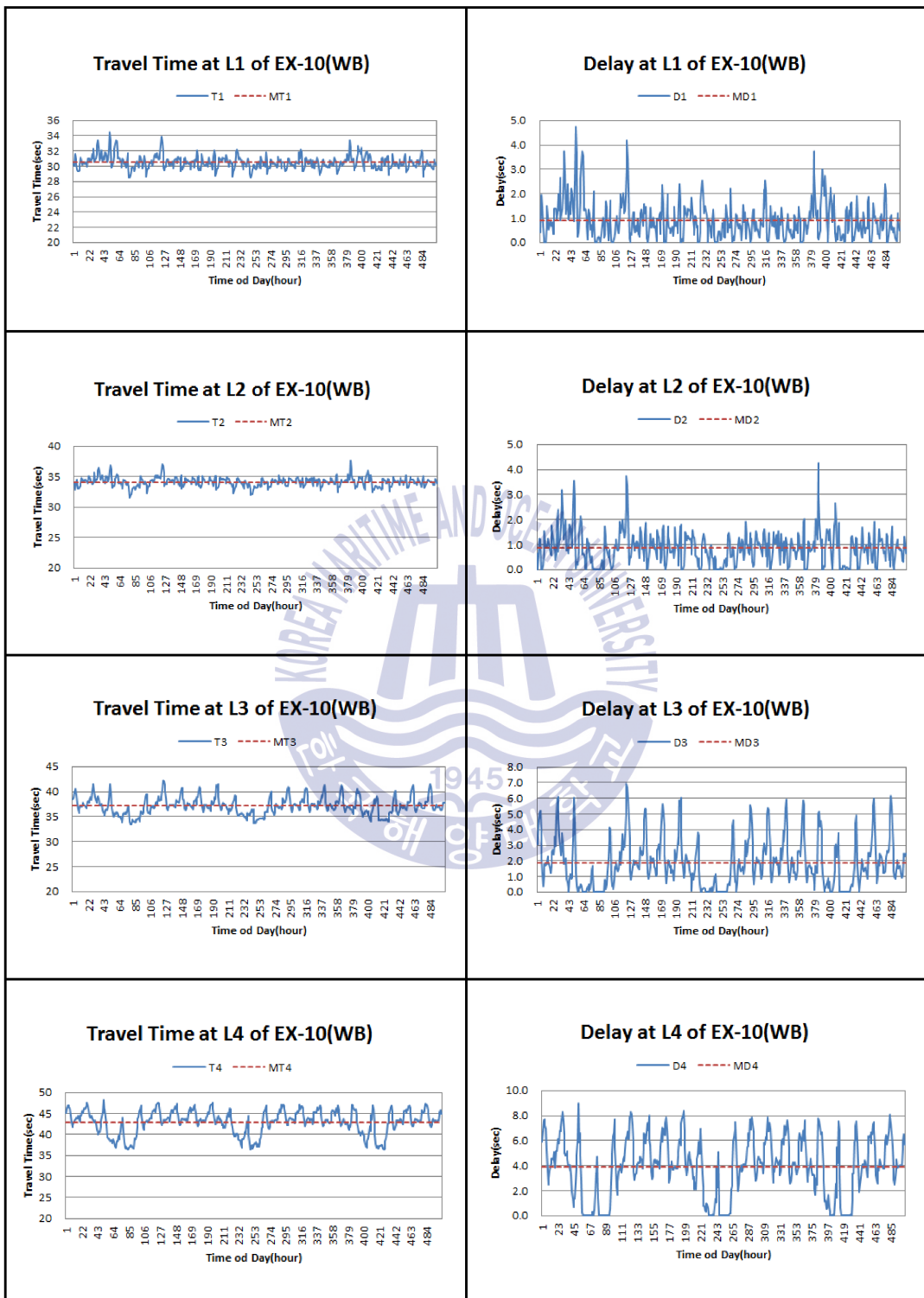


Figure 3.42 Travel time and delay variation by lane in EX-10(WB)

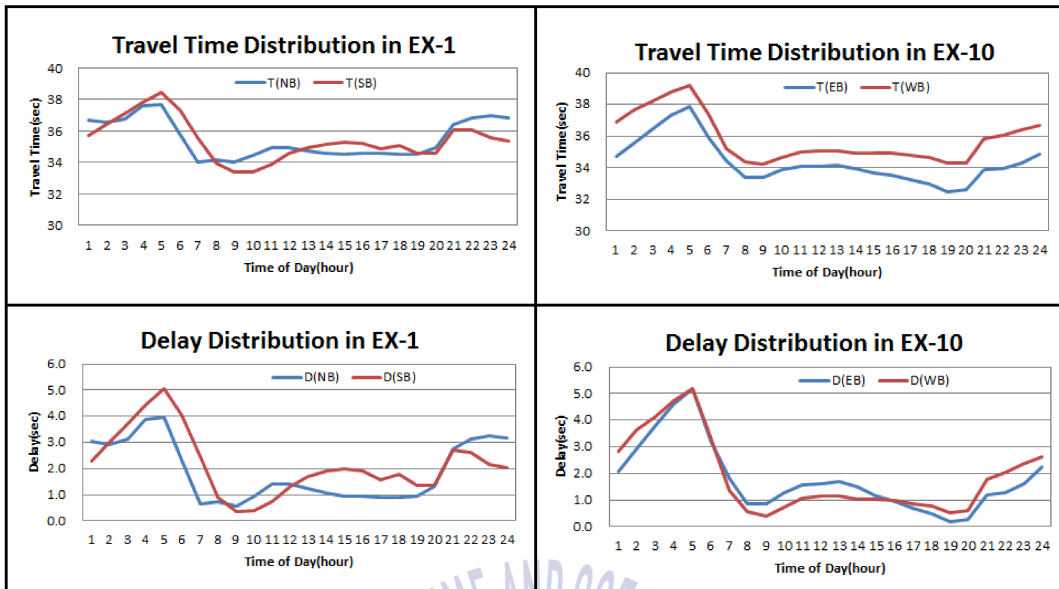


Figure 3.43 Travel time and delay distributions in EX-1 and EX-10

결과적으로 지정차로제가 시행중인 경부고속도로와 남해고속도로에서는 방향별 요일별 시간별 그리고 차로별 통행특성의 분포와 편차에서 뚜렷한 차이가 확인되었다. 특히, 경부고속도로와 남해고속도로에서는 위의 Figure 3.43에서 보여주듯이 방향별 첨두 통행특성에 관계없이 새벽시간대와 심야시간대에 중대형차량의 집중으로 통행시간 및 지체는 다소 증가하는 것으로 나타났다. 그러므로 고속도로의 효율성을 극대화시키기 위해서는 고속도로의 방향별 요일별 시간별 그리고 차로별 실시간의 통행량 집중정도에 기초하여 첨단 여행자 정보체계(ATIS)와 첨단 여행자 관리체계(ATMS)를 포함한 고속도로 교통관리체계(FTMS)구축을 검토할 필요가 있다고 생각하였다.

4장 통행특성의 상관관계분석

이 장에서는 3장의 자료수집 및 분석결과를 토대로 차로별 속도와 통행시간 사이의 상관관계분석 및 차로별 지체와 평균지체사이의 상관관계분석에 대해서 기술한다.

4.1 상관관계분석의 개념

일반적으로 상관관계분석(correlation analysis)이란 두 변수사이에 어떠한 선형적 관계가 있는 지를 분석하는 방법으로서, 두 변수가 서로 독립적인 관계로부터 서로 상관될 수 있고, 이때 두 변수사이의 관계의 강도를 상관관계(correlation)라 하며, 상관관계의 정도를 나타내는 단위로 모 상관계수(r)를 사용한다. 그리하여 경부고속도로와 남해고속도로의 연구대상 8차로구간에서 수집된 통행특성자료의 분석결과를 토대로 차로별 속도와 통행시간사이의 상관특성과 차로별 지체와 평균지체사이의 상관특성을 검토하기 위하여 상관관계분석을 실시하였다.

4.2 차로별 속도(U_i)와 통행시간(T)의 상관관계분석

통행특성자료 중에서 차로별 속도는 연구대상구간 내 개별 차로구간의 공간 평균속도(km/h)이고, 통행시간은 연구대상구간 내 차로별 공간평균속도의 평균으로부터 산정한 평균통행시간(sec)으로서 통행량의 집중과 상호 관련성이 있기 때문에 차로별 속도와 통행시간사이의 상관분석은 아래와 같은 식 (4.1)~(4.4)을 사용하였다.

$$r = \frac{S_{U_i T}}{S_{U_i} \times S_T} \quad (4.1)$$

$$S_{U_i T} = \sum_{j=1}^m (U_{ij} \times T_j) - \left(\frac{1}{m}\right) \left(\sum_{j=1}^m U_{ij}\right) \left(\sum_{j=1}^m T_j\right) \quad (4.2)$$

$$S_{U_i} = \sqrt{\left[\sum_{j=1}^m U_{ij}^2 - \left(\frac{1}{m}\right) \left(\sum_{j=1}^m U_{ij}\right)^2 \right]} \quad (4.3)$$

$$S_T = \sqrt{\left[\sum_{j=1}^m T_j^2 - \left(\frac{1}{m}\right) \left(\sum_{j=1}^m T_j\right)^2 \right]} \quad (4.4)$$

여기서,

- r : correlation coefficients for paired samples
- $S_{U_i T}$: covariance of U_i and T for paired samples
- S_{U_i} : standard deviation of U_i for paired samples
- S_T : standard deviation of T for paired samples
- U_{ij} : actual travel speed at i -th lane and j -th hour (km/h)
- T_j : ideal travel time by 85th percentile speed at j -th hour(%)
- m : no. of paired samples

위와 같이 연구대상구간 내 각 차로별 속도와 통행시간사이에 상관분석을 실시한 결과, 음(-)의 상관특성을 보이면서 차로별 상관계수 r 에서 뚜렷한 차이를 확인할 수 있었다.

우선적으로 경부고속도로의 북쪽방향에서 차로별 속도와 통행시간사이의 상관계수를 비교해보면, 추월차로인 1차로의 속도와 통행시간사이의 상관계수는 -0.0980으로 가장 낮게 나타났고, 소형차로인 2차로의 속도와 통행시간사이의 상관계수는 -0.4313으로 낮게 나타났다. 반면, 중형차로인 3차로의 속도와 통행시간사이의 상관계수는 -0.9421로 가장 높게 나타났고, 대형차로인 4차로의 속도와 통행시간사이의 상관계수는 -0.7136으로 다소 높게 나타남으로써 북쪽방향 4차로구간 내에서 중형차로인 3차로에서 속도와 통행시간사이에 높은 음(-)의 상관특성이 존재하고 있고 소형차로인 2차로에서 가장 낮은 음(-)의

상관특성이 존재하고 있음을 확인할 수 있었다(참조 Table 4.1과 Figure 4.1). 또한, 경부고속도로의 남쪽방향에서 차로별 속도와 통행시간사이의 상관관계를 비교해보면, 추월차로인 1차로의 속도와 통행시간사이의 상관계수는 -0.2839로 가장 낮게 나타났고, 소형차로인 2차로의 속도와 통행시간사이의 상관계수는 -0.5671로 낮게 나타났다. 반면, 중형차로인 3차로의 속도와 통행시간사이의 상관계수는 -0.9359로 가장 높게 나타났고, 대형차로인 4차로의 속도와 통행시간사이의 상관계수는 -0.7173으로 다소 높게 나타남으로써 남쪽방향에서도 4차로구간 내에서 중형차로인 3차로에서 속도와 통행시간사이에 높은 음(-)의 상관특성이 존재하고 있고 소형차로인 2차로에서 가장 낮은 음(-)의 상관특성이 존재하고 있음을 확인할 수 있었다(참조 Table 4.1과 Figure 4.2).

다음으로 남해고속도로의 동쪽방향에서 차로별 속도와 통행시간사이의 상관계수를 비교해보면, 추월차로인 1차로의 속도와 통행시간사이의 상관계수는 -0.1929로 가장 낮게 나타났고, 소형차로인 2차로의 속도와 통행시간사이의 상관계수는 -0.4548로 낮게 나타났다. 반면, 중형차로인 3차로의 속도와 통행시간사이의 상관계수는 -0.9423으로 가장 높게 나타났고, 대형차로인 4차로의 속도와 통행시간사이의 상관계수는 -0.7683으로 다소 높게 나타남으로써 동쪽방향 4차로구간 내에서 중형차로인 3차로에서 속도와 통행시간사이에 높은 음(-)의 상관특성이 존재하고 있고 소형차로인 2차로에서 가장 낮은 음(-)의 상관특성이 존재하고 있음을 확인할 수 있었다(참조 Table 4.1과 Figure 4.3). 또한, 남해고속도로의 서쪽방향에서 차로별 속도와 통행시간사이의 상관관계를 비교해보면, 추월차로인 1차로의 속도와 통행시간사이의 상관계수는 -0.4339로 가장 낮게 나타났고, 소형차로인 2차로의 속도와 통행시간사이의 상관계수는 -0.5010으로 낮게 나타났다. 반면, 중형차로인 3차로의 속도와 통행시간사이의 상관계수는 -0.9477로 가장 높게 나타났고, 대형차로인 4차로의 속도와 통행시간사이의 상관계수는 -0.8319로 다소 높게 나타남으로써 남쪽방향에서도 4차로구간 내에서 중형차로인 3차로에서 속도와 통행시간사이에 높은 음(-)의 상관특성이 존재하고 있고 소형차로인 2차로에서 가장 낮은 음(-)의 상관특성

이 존재하고 있음을 확인할 수 있었다(참조 Table 4.1과 Figure 4.4).

Table 4.1 Correlation analysis between U_i and T in EX-1 and EX-10

Expressway/Direction		Correlation Coefficients(r)			
		r_1	r_2	r_3	r_4
EX-1	NB	-0.0980	-0.4313	-0.9421	-0.7136
	SB	-0.2839	-0.5671	-0.9359	-0.7173
EX-10	EB	-0.1929	-0.4548	-0.9423	-0.7683
	WB	-0.4339	-0.5010	-0.9477	-0.8319
Rank		4	3	1	2

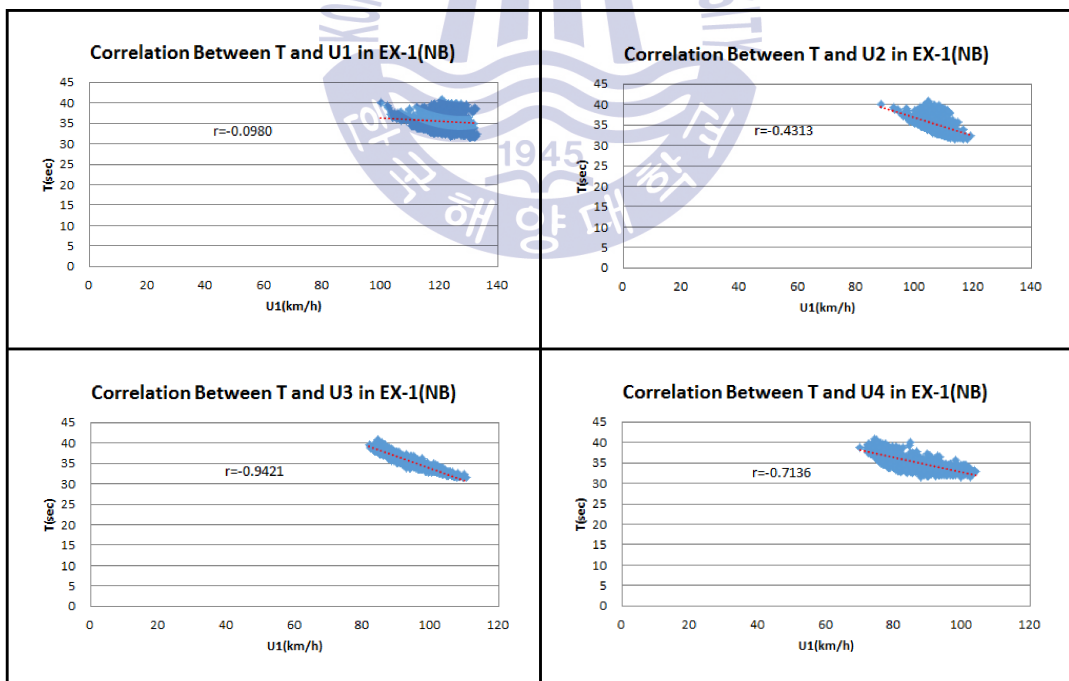


Figure 4.1 Correlation between U_i and T in EX-1(NB)

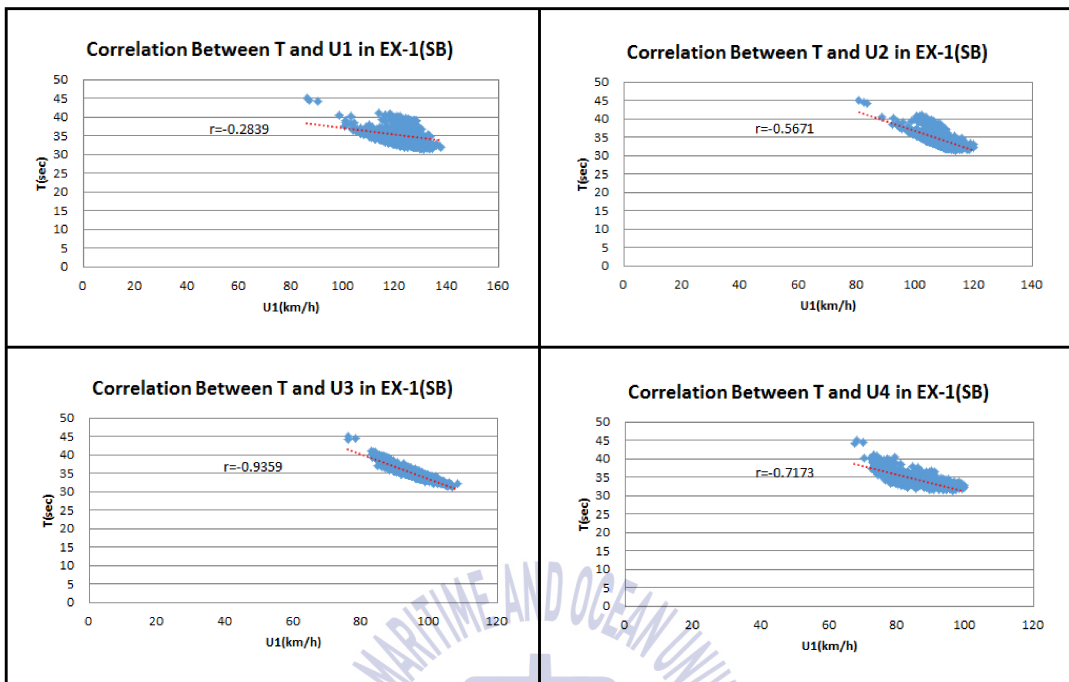


Figure 4.2 Correlation between U_i and T in EX-1(SB)

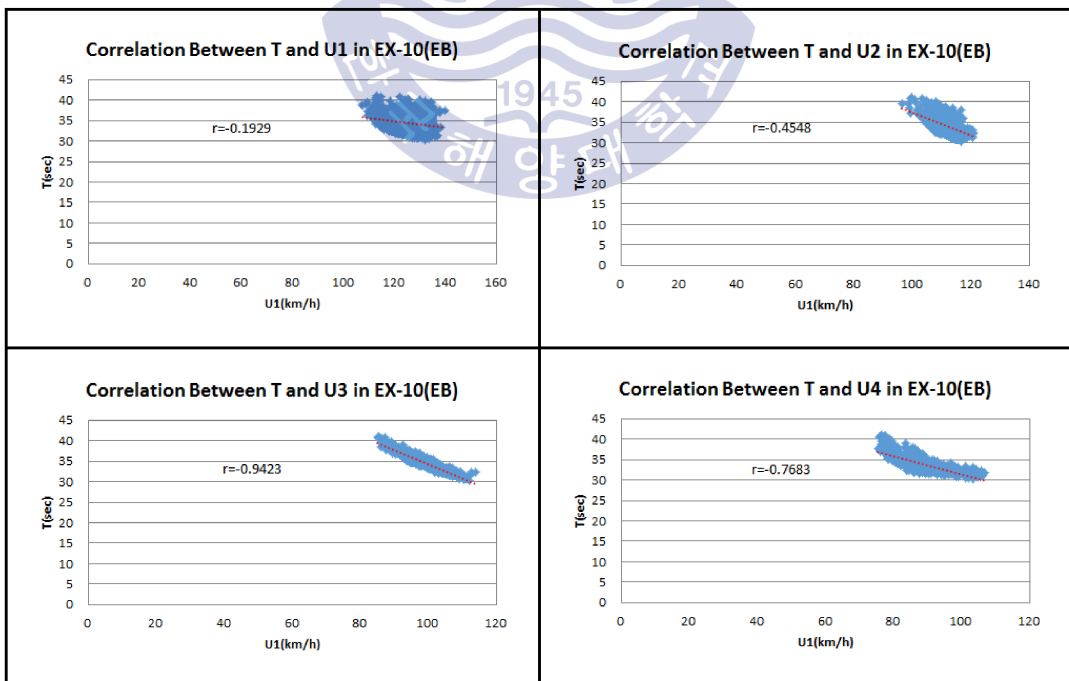


Figure 4.3 Correlation between U_i and T in EX-10(EB)

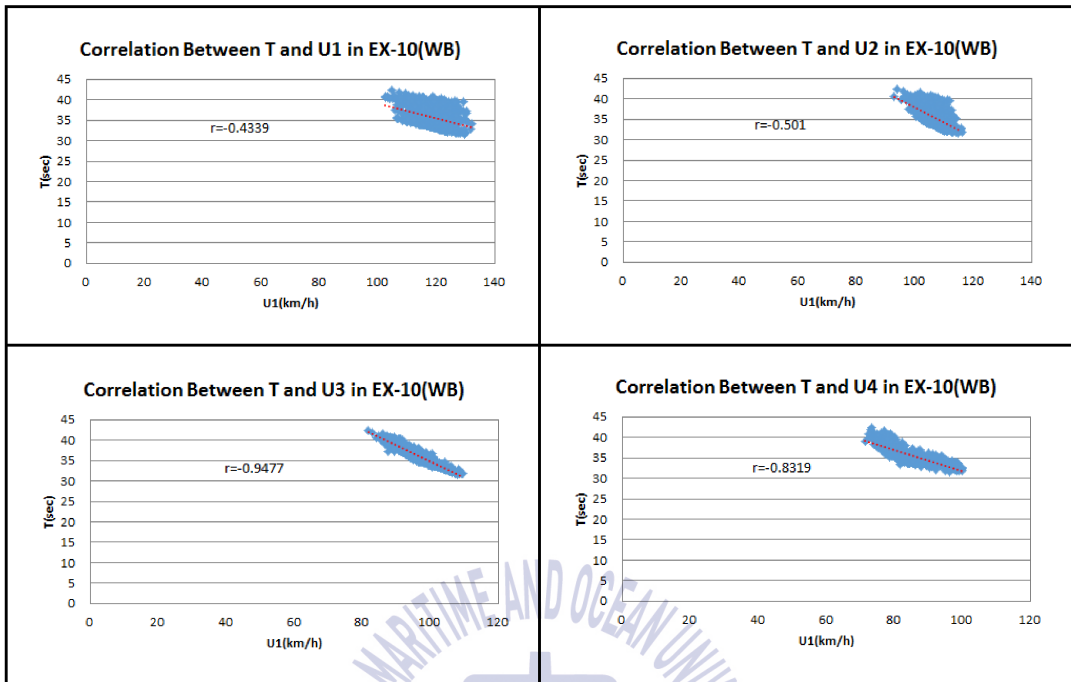


Figure 4.4 Correlation between U_i and T in EX-10(WB)

4.3 차로별 지체(D_i)와 평균지체(D)의 상관관계분석

통행특성자료 중에서 차로별 지체(lane delay)는 규정 속도기준의 85백분위 속도에 기초한 연구대상구간 내 개별차로의 평균지체(sec)이고, 평균지체(mean delay)는 규정 속도기준의 85백분위속도에 기초한 연구대상구간 내 차로별 지체의 평균지체(sec)로서 역시 통행량의 집중과 상호 관련성이 있기 때문에 차로별 지체와 평균지체 사이의 상관분석은 아래와 같은 식 (4.5)~(4.8)을 사용하였다.

$$r = \frac{S_{D_i D}}{S_{D_i} \times S_D} \quad (4.5)$$

$$S_{D_i D} = \sum_{j=1}^m (D_{ij} \times D_j) - \left(\frac{1}{m}\right) \left(\sum_{j=1}^m D_{ij}\right) \left(\sum_{j=1}^m D_j\right) \quad (4.6)$$

$$S_{D_i} = \sqrt{\left[\sum_{j=1}^m D_{ij}^2 - \left(\frac{1}{m}\right) \left(\sum_{j=1}^m D_{ij}\right)^2 \right]} \quad (4.7)$$

$$S_D = \sqrt{\left[\sum_{j=1}^m D_j^2 - \left(\frac{1}{m}\right) \left(\sum_{j=1}^m D_j\right)^2 \right]} \quad (4.8)$$

여기서,

- r : correlation coefficients for paired samples
- $S_{D_i D}$: covariance of D_i and D for paired samples
- S_{D_i} : standard deviation of D_i for paired samples
- S_D : standard deviation of D for paired samples
- D_{ij} : difference between actual travel time and ideal travel time by
85th percentile speed at i -th lane and j -th hour (km/h)
- D_j : difference between actual travel time and ideal travel time by
85th percentile speed at j -th hour(%)
- m : no. of paired samples

위와 같이 연구대상구간 내 각 차로별 지체와 평균지체사이에 상관분석을 실시한 결과, 양(+)의 상관특성을 보이면서 각 차로별 상관계수에서 뚜렷한 차이를 확인할 수 있었다.

우선적으로 경부고속도로의 북쪽방향에서 차로별 지체와 평균지체 사이의 상관계수를 비교해보면, 추월차로인 1차로의 지체와 평균지체 사이의 상관계수는 0.0100으로 가장 낮게 나타났고, 소형차로인 2차로의 지체와 평균지체 사이의 상관계수는 0.3795으로 낮게 나타났다. 반면, 중형차로인 3차로의 지체와 평균지체 사이의 상관계수는 0.9522로 가장 높게 나타났고, 대형차로인 4차로의 지체와 평균지체 사이의 상관계수는 0.8396으로 다소 높게 나타남으로써 북쪽방향 4차로구간 내 중형차로인 3차로에서 차로별 지체와 평균지체 사이에 높은 양(+)의 상관특성이 존재하고 있음을 확인할 수 있었고 추월차로인 1차로에서

가장 낮은 양(+)의 상관특성이 존재하고 있음을 확인할 수 있었다(참조 Table 4.2과 Figure 4.5). 또한, 경부고속도로의 남쪽방향에서 차로별 지체와 평균지체 사이의 상관계수를 비교해보면, 추월차로인 1차로의 지체와 평균지체 사이의 상관계수는 0.2379로 가장 낮게 나타났고, 소형차로인 2차로의 지체와 평균지체 사이의 상관계수는 0.5231로 낮게 나타났다. 반면, 중형차로인 3차로의 지체와 평균지체 사이의 상관계수는 0.9420으로 가장 높게 나타났고, 대형차로인 4차로의 지체와 평균지체 사이의 상관계수는 0.7677로 다소 높게 나타남으로써 북쪽방향 4차로구간 내 중형차로인 3차로에서 차로별 지체와 평균지체 사이에 높은 양(+)의 상관특성이 존재하고 있음을 확인할 수 있었고 추월차로인 1차로에서 가장 낮은 양(+)의 상관특성이 존재하고 있음을 확인할 수 있었다(참조 Table 4.2과 Figure 4.6).

다음으로 남해고속도로의 동쪽방향에서 차로별 지체와 평균지체 사이의 상관계수를 비교해보면, 추월차로인 1차로의 지체와 평균지체 사이의 상관계수는 0.2559로 가장 낮게 나타났고, 소형차로인 2차로의 지체와 평균지체 사이의 상관계수는 0.4367로 낮게 나타났다. 반면, 중형차로인 3차로의 지체와 평균지체 사이의 상관계수는 0.9528로 가장 높게 나타났고, 대형차로인 4차로의 지체와 평균지체 사이의 상관계수는 0.8720으로 다소 높게 나타남으로써 북쪽방향 4차로구간 내 중형차로인 3차로에서 차로별 지체와 평균지체 사이에 높은 양(+)의 상관특성이 존재하고 있음을 확인할 수 있었고 추월차로인 1차로에서 가장 낮은 양(+)의 상관특성이 존재하고 있음을 확인할 수 있었다(참조 Table 4.2과 Figure 4.7). 또한, 남해고속도로의 서쪽방향에서 차로별 지체와 평균지체 사이의 상관계수를 비교해보면, 추월차로인 1차로의 지체와 평균지체 사이의 상관계수는 0.3770으로 가장 낮게 나타났고, 소형차로인 2차로의 지체와 평균지체 사이의 상관계수는 0.4288로 낮게 나타났다. 반면, 중형차로인 3차로의 지체와 평균지체 사이의 상관계수는 0.9517로 가장 높게 나타났고, 대형차로인 4차로의 지체와 평균지체 사이의 상관계수는 0.8632로 다소 높게 나타남으로써 북쪽방향 4차로구간 내 중형차로인 3차로에서 차로별 지체와 평균지체 사

이에 높은 양(+)의 상관특성이 존재하고 있음을 확인할 수 있었고 추월차로인 1차로에서 가장 낮은 양(+)의 상관특성이 존재하고 있음을 확인할 수 있었다 (참조 Table 4.2과 Figure 4.8).

Table 4.2 Correlation analysis between D_i and D in EX-1 and EX-10

Expressway/Direction		Correlation Coefficients(r)			
		r_1	r_2	r_3	r_4
EX-1	NB	0.0100	0.3795	0.9522	0.8396
	SB	0.2379	0.5231	0.9420	0.7677
EX-10	EB	0.2559	0.4367	0.9528	0.8720
	WB	0.3770	0.4288	0.9517	0.8632
Rank		4	3	1	2

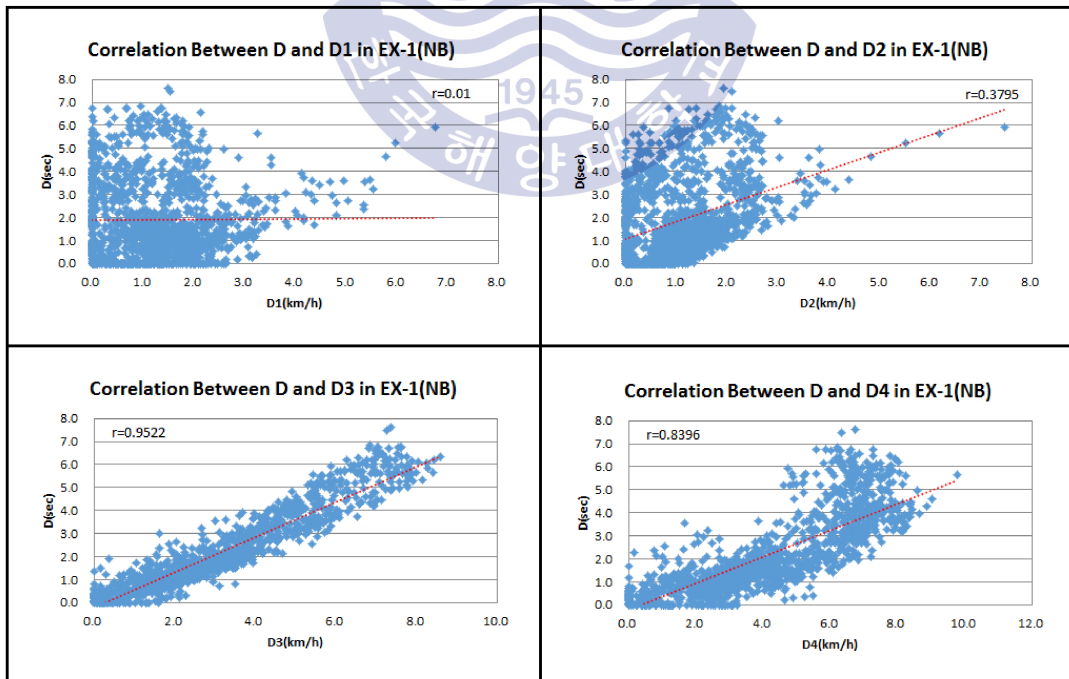


Figure 4.5 Correlation between D_i and D in EX-1(NB)

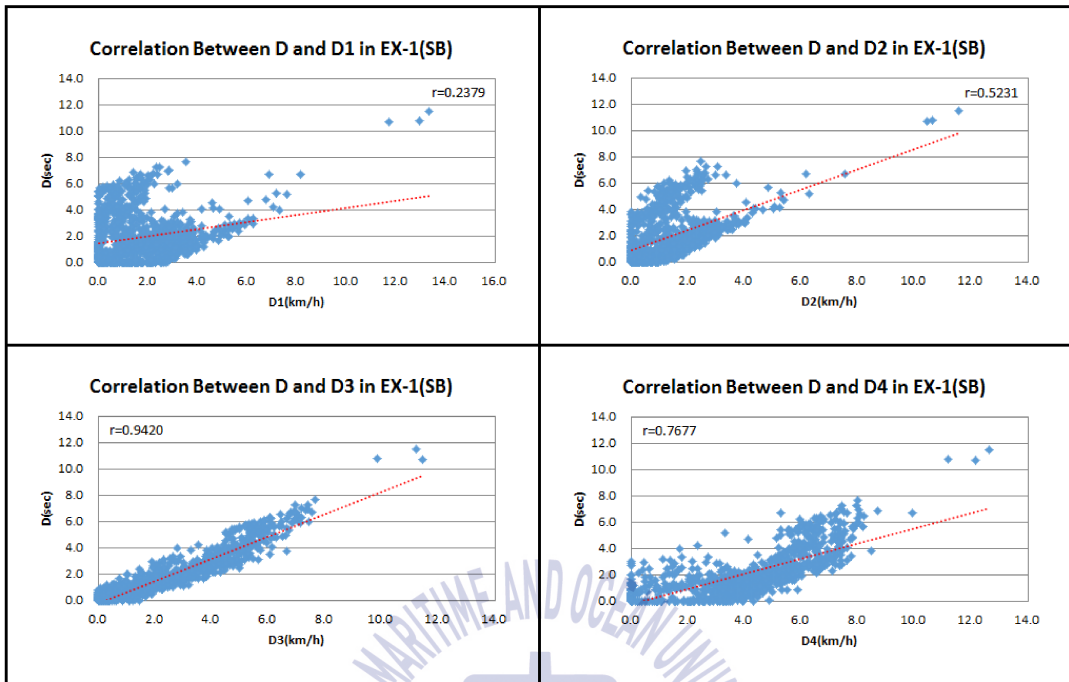


Figure 4.6 Correlation between D_i and D in EX-1(SB)

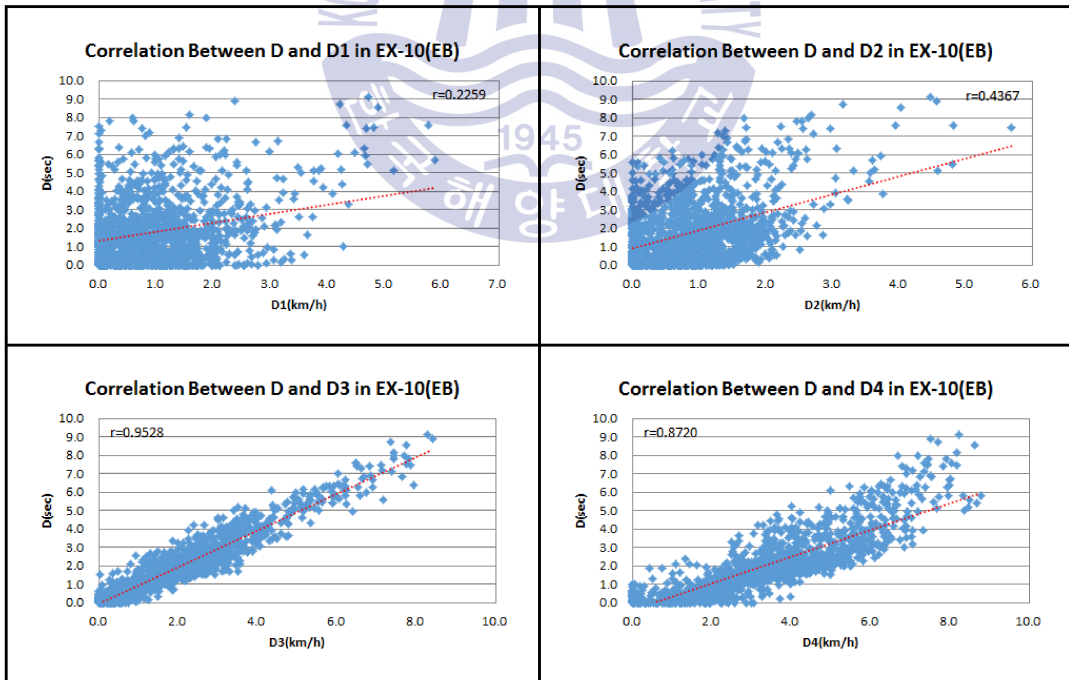


Figure 4.7 Correlation between D_i and D in EX-10(EB)

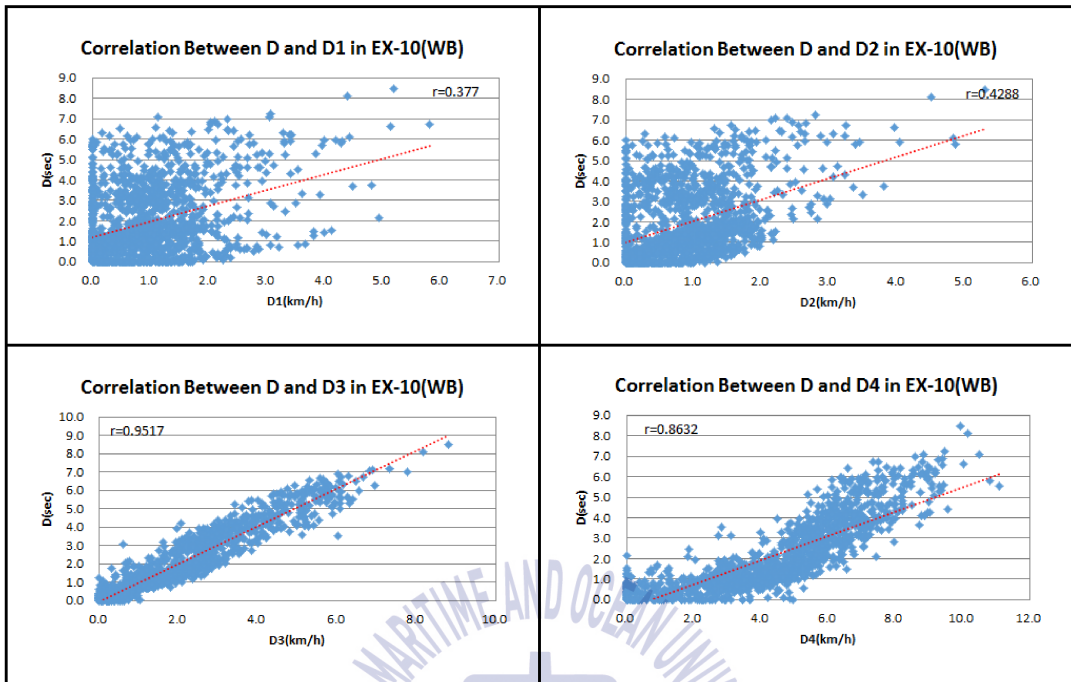


Figure 4.8 Correlation between D_i and D in EX-10(WB)

결과적으로 지정차로제가 시행중인 연구대상 고속도로의 차로별 속도와 통행 시간의 상관관계분석과 차로별 지체와 평균지체의 상관관계분석을 요약해보면, 연구대상 8차로구간 내에서는 방향에 관계없이 차로별 속도와 통행시간사이에는 중형차로인 3차로에서 높은 음(-)의 상관특성을 보이는 것으로 나타났고, 차로별 지체와 평균지체사이에는 연구대상 8차로구간 내에서는 방향에 관계없이 역시 중형차로인 3차로에서 높은 양(+)의 상관특성을 보이는 것으로 나타났다. 그러므로 차로별 통행특성의 상관관계를 이용하여 통행시간 및 지체를 추정할 수 있다면 고속도로의 첨단 여행자 정보체계(ATIS)와 첨단 여행자 관리체계(ATMS)를 포함한 고속도로 교통관리체계(FTMS)개선에 기여할 수 있을 것으로 생각하였다.

5장 모형 구축 및 검증

이 장에서는 4장의 통행특성의 상관분석결과를 토대로 차로별 속도와 통행시간의 모형 구축 및 검증과정과 차로별 지체와 평균지체의 모형 구축 및 검증과정에 대하여 기술한다.

5.1 모형 구축

연구대상 고속도로의 차로별 속도(U_i)와 통행시간(T)사이엔 음(-)의 높은 상관특성이 확인되었고, 또한 차로별 지체와 평균지체사이엔 양(+)의 높은 상관특성이 확인됨으로써 이를 이용한 통행시간 및 지체의 함수관계는 각각 아래의 식(5.1)~식(5.2)과 같이 제시하였다.

$$T=f(U_i) \quad (5.1)$$

$$D=f(D_i) \quad (5.2)$$

여기에서,

T : mean travel time taken by a vehicle to traverse a unit segment of a highway(sec)

U_i : space mean speed of each lane i at a unit segment(km/h)

D : difference between actual travel time and ideal travel time by 85th percentile speed at a unit segment(sec)

D_i : difference between actual travel time and ideal travel time by 85th percentile speed of each lane i at a unit segment(sec)

특히, 식(5.1)의 통행시간 함수관계에서 단계적 변수선택과정(stepwise)을 통해 모형의 설명력에서 우선순위로 선택된 3차로와 함께 2차로의 속도를 독립변수로 사용하였고, 종속변수로 통행시간을 사용하여 높은 결정계수(R^2) 값을 보이는 아래의 식(5.3)과 같은 다중선형회귀모형을 채택하였다. 다만, 차로별 속도와 통행시간사이의 상관특성에서 4차로의 속도가 2차로의 속도보다 통행시간과 다소 높은 상관특성을 보였으나, 단계적 변수선택과정(stepwise)의 우선순위에서 제외되었다.

$$\text{LIN} \quad : \quad f(U_2, U_3) = \beta_0 + \beta_1 \times U_3 + \beta_2 \times U_2 \quad (5.3)$$

여기에서,

$$\beta_j \quad : \text{ regression coefficients } (j=0, 1, 2)$$

또한, 식(5.2)의 지체 함수관계에서 가장 높은 상관특성을 보이는 3차로의 지체를 독립변수로 사용하였고, 종속변수로 평균지체를 사용하여 아래의 선형모형(linear model, LIN), 대수모형(logarithmic model, LOG), 역 모형(inverse model, INV), 2차 모형(quadratic model, QUA), 3차 모형(cubic model, CUB), 파워모형(power model, POW), 복합모형(compound model, COM), S-곡선모형(S-curve model, SCV), 로지스틱모형(logistic model, LGS), 성장모형(growth model, GRH) 및 지수모형(exponential model, EXP)

$$\text{LIN} \quad : \quad D = \beta_0 + \beta_1 \times D_3$$

$$\text{LOG} \quad : \quad D = \beta_0 + \beta_1 \times \ln(D_3)$$

$$\text{INV} \quad : \quad D = \beta_0 + \beta_1 / D_3$$

$$\text{QUA} \quad : \quad D = \beta_0 + \beta_1 \times D_3 + \beta_2 \times D_3^2$$

$$\text{CUB} \quad : \quad D = \beta_0 + \beta_1 \times D_3 + \beta_2 \times D_3^2 + \beta_3 \times D_3^3$$

$$\begin{aligned}
\text{POW} &: D = \beta_0 \times D_3^{\beta_1} \\
\text{COM} &: D = \beta_0 + \beta_1^{D_3} \\
\text{SCV} &: D = e^{\beta_0 + \beta_1 / D_3} \\
\text{LGS} &: D = 1 / \left(\frac{1}{[d]} + \beta_0 \times \beta_1^{D_3} \right) ([d]: \text{양의 상한계 값}) \\
\text{GRH} &: D = e^{\beta_0 + \beta_1 \times D_3} \\
\text{EXP} &: D = \beta_0 + e^{\beta_1 \times D_3}
\end{aligned}$$

등의 회귀모형들 중에서 높은 결정계수(R^2) 값을 보이는 선형모형(LIN), 2차 모형(QUA) 및 3차 모형(CUB)을 검토하였으며, 그 중에서 가장 적용하기 쉬운 아래의 식(5.4)와 같은 단순선형회귀모형을 채택하였다.

$$\text{LIN} : f(D_3) = \beta_0 + \beta_1 \times D_3 \quad (5.4)$$

여기에서,

β_j : regression coefficients($j=0, 1$)

결과적으로 연구대상 고속도로의 8차로구간에서 통행시간 및 지체모형의 결정계수 값은 대체적으로 0.8이상으로 높게 나타났고 방향별로 설명력에서 다소 차이를 보이는 것으로 확인되었다.

우선적으로 경부고속도로의 북쪽방향에서 통행시간모형의 결정계수 값은 0.8877로 다소 높은 설명력을 보였고, 남쪽방향에서도 0.8899로 역시 다소 높은 설명력을 보였으며, 방향과 관계없이 통행시간모형의 결정계수 값은 0.8845로 다소 높은 설명력을 보였다(참조 Table 5.1과 Figures 5.1~5.3).

또한, 경부고속도로의 북쪽방향에서 지체모형의 결정계수 값은 0.9097로 다

소 높은 설명력을 보였고, 남쪽방향에서도 0.8915로 역시 높은 설명력을 보였으며, 방향과 관계없이 지체모형의 결정계수 값은 0.8961로 다소 높은 설명력을 보였다(참조 Table 5.1과 Figures 5.4~5.6).

Table 5.1 Travel time and delay models in EX-1

Expressway		Model	R^2	F-sig.
EX-1	NB	$T = 64.064 - 0.307 \times U_3 - 0.002 \times U_2$	0.8877	0.000
	SB	$T = 71.296 - 0.316 \times U_3 - 0.059 \times U_2$	0.8899	0.000
	NS	$T = 68.524 - 0.309 \times U_3 - 0.038 \times U_2$	0.8845	0.000
EX-1	NB	$D = -0.223 + 0.7819 \times D_3$	0.9097	0.000
	SB	$D = -0.2048 + 0.8528 \times D_3$	0.8915	0.000
	NS	$D = -0.1959 + 0.808 \times D_3$	0.8961	0.000

NB : northbound SB : southbound NS : north-south bounds

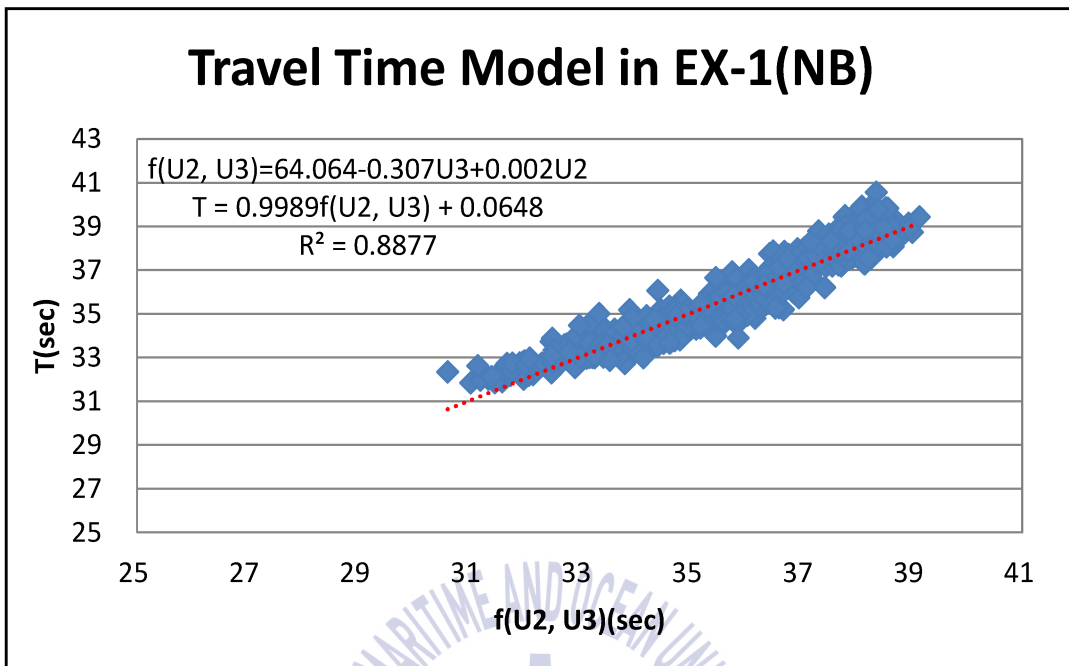


Figure 5.1 T Model in EX-1(NB)

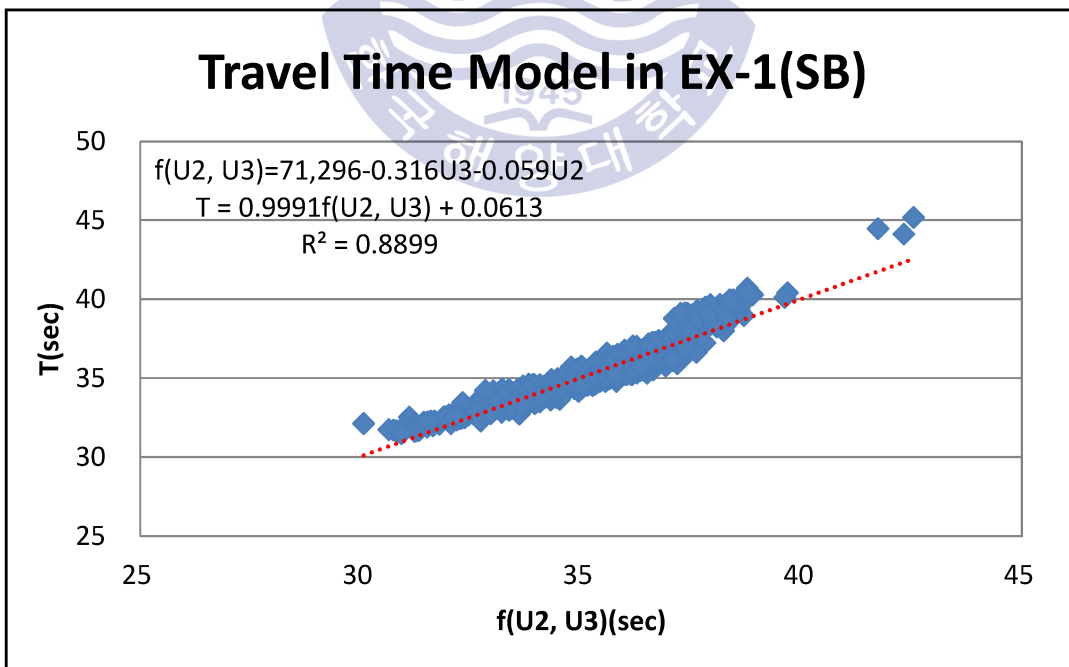


Figure 5.2 T Model in EX-1(SB)

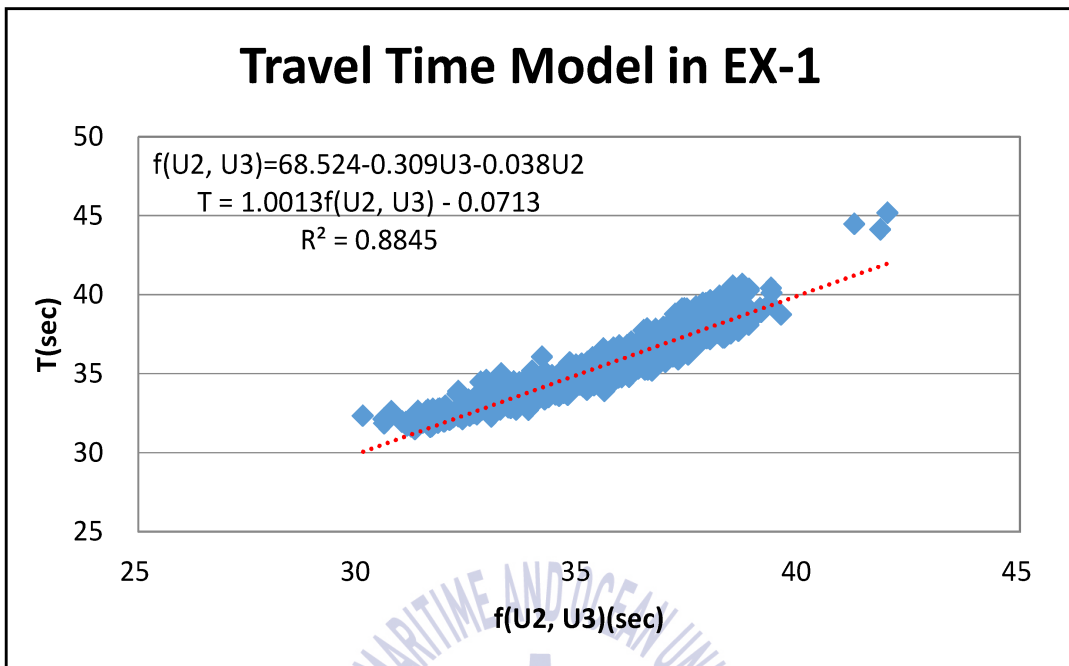


Figure 5.3 T Model in EX-1

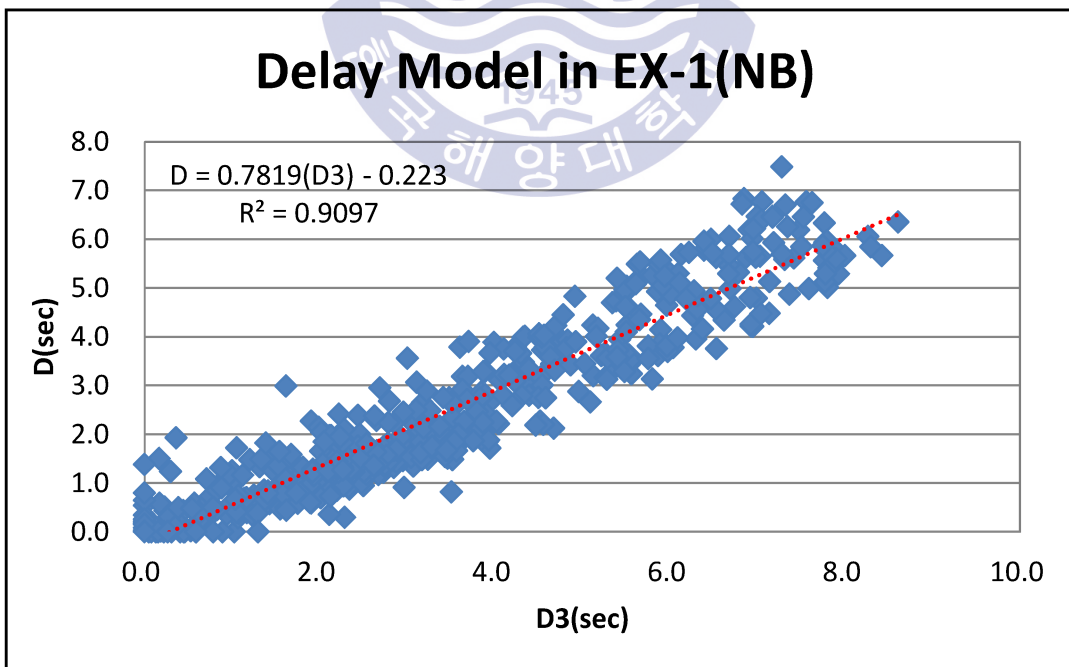


Figure 5.4 D Model in EX-1(NB)

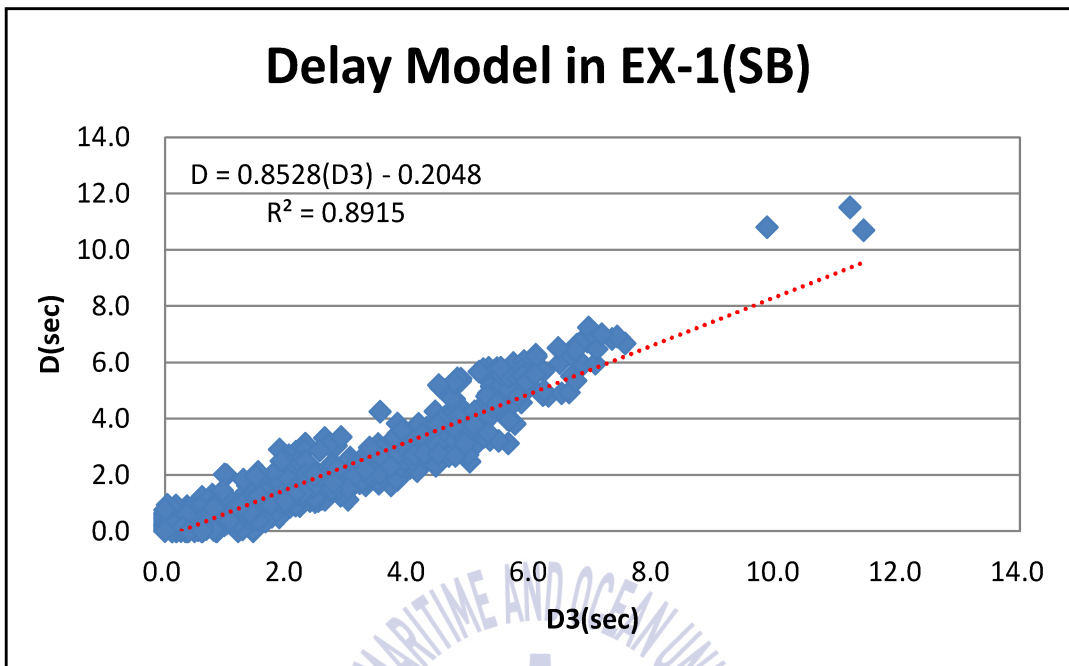


Figure 5.5 D Model in EX-1(SB)

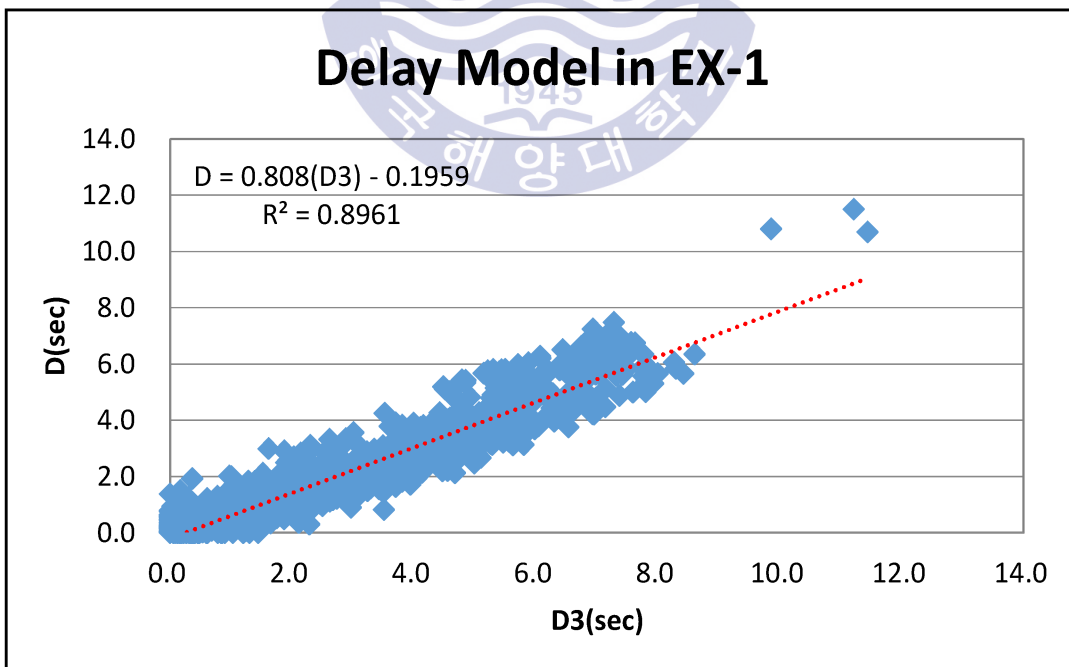


Figure 5.6 D Model in EX-1

다음으로 우선적으로 남해고속도로의 동쪽방향에서 통행시간모형의 결정계수 값은 0.9019로 높은 설명력을 보였고, 서쪽방향에서도 0.8998로 역시 높은 설명력을 보였으며, 방향과 관계없이 통행시간모형의 결정계수 값은 0.8919로 다소 높은 설명력을 보였다(참조 Table 5.2와 Figures 5.7~5.9).

또한, 남해고속도로의 동쪽방향에서 지체모형의 결정계수 값은 0.9199로 높은 설명력을 보였고, 서쪽방향에서도 0.8920으로 역시 높은 설명력을 보였으며, 방향과 관계없이 지체모형의 결정계수 값은 0.9072로 높은 설명력을 보였다(참조 Tables 5.2와 Figures 5.10~5.12).

Table 5.2 Travel time and delay models in EX-10

Expressway		Model	R^2	F-sig.
EX-10	EB	$T = 66.421 - 0.362 \times U_3 + 0.036 \times U_2$	0.9019	0.000
	WB	$T = 71.019 - 0.381 \times U_3 + 0.016 \times U_2$	0.8998	0.000
	EW	$T = 72.895 - 0.36 \times U_3 - 0.023 \times U_2$	0.8919	0.000
EX-10	EB	$D = -0.0933 + 0.9996 \times D_3$	0.9199	0.000
	WB	$D = -0.0283 + 0.999 \times D_3$	0.8920	0.000
	EW	$D = -0.0585 + 0.9982 \times D_3$	0.9072	0.000

EB : eastbound WB : westbound EW : east-west bounds

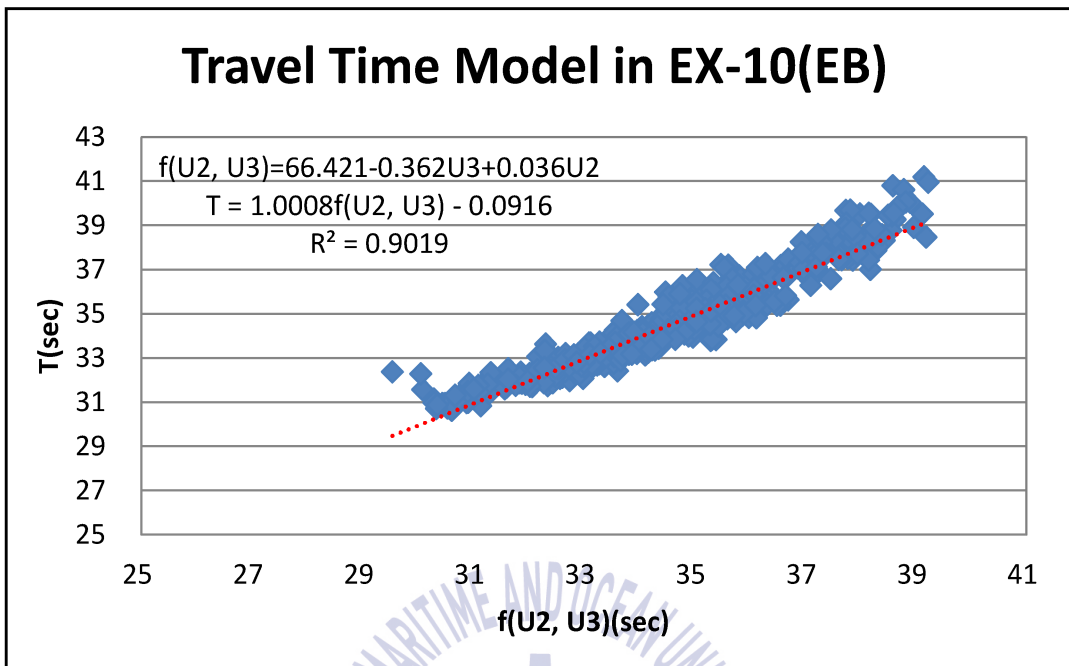


Figure 5.7 T Model in EX-10(EB)

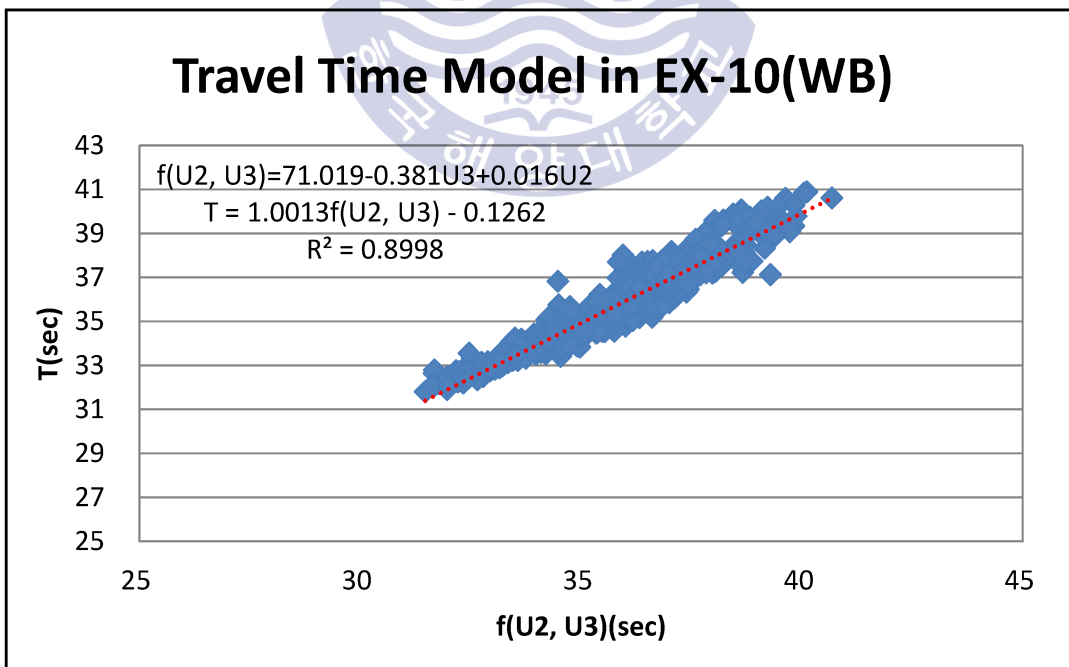


Figure 5.8 T Model in EX-10(WB)

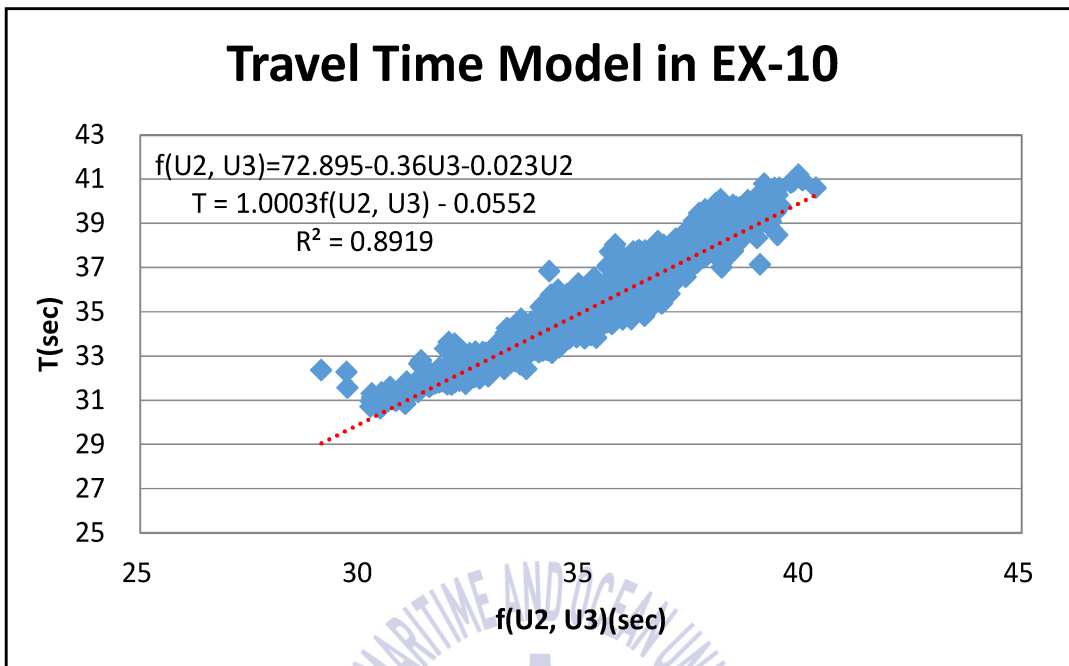


Figure 5.9 T Model in EX-10

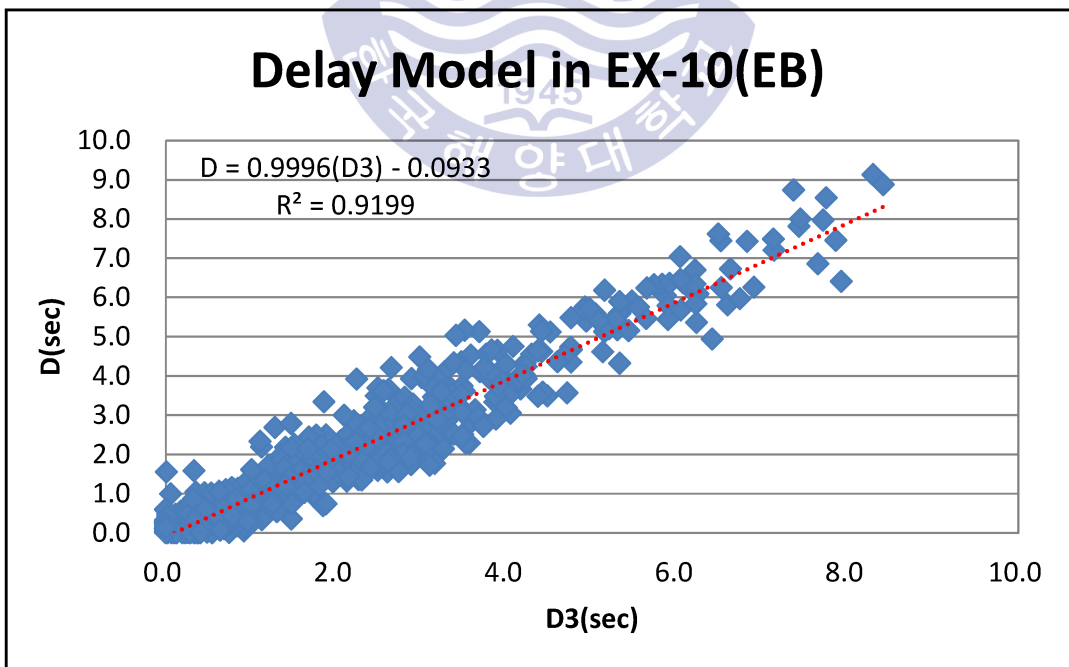


Figure 5.10 D Model in EX-10(EB)

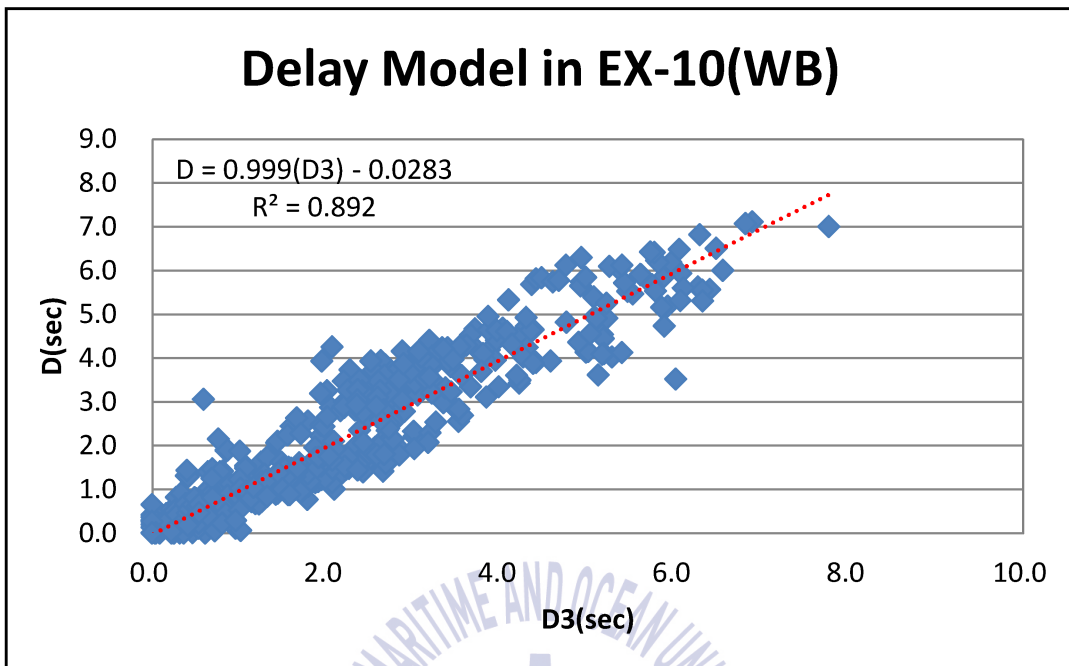


Figure 5.11 D Model in EX-10(WB)

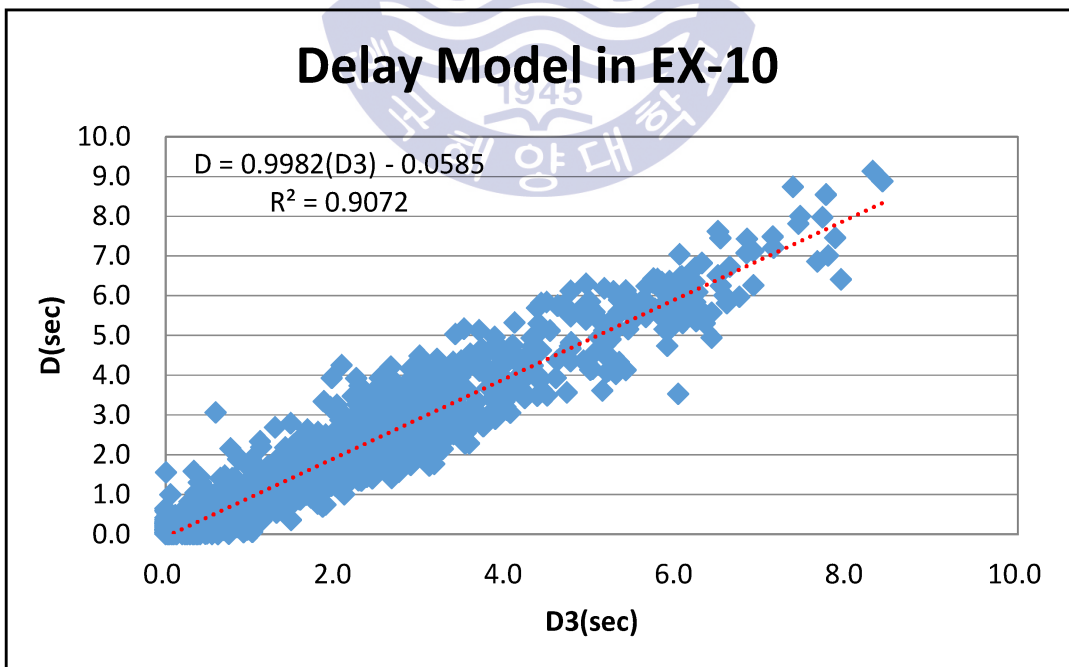


Figure 5.12 D Model in EX-10

결과적으로 고속도로의 연구대상구간에서 방향에 관계없이 통행시간모형의 결정계수 값은 0.885~0.902로 다소 높게 나타났고 지체모형의 결정계수 값은 0.892~0.920으로 다소 높게 나타남으로써 통행시간은 고속도로의 2, 3차로 속도를 이용한 다중선형회귀모형에서 높은 설명력을 확인할 수 있었으며 평균지체는 3차로의 지체를 이용한 단순선형회귀모형에서 역시 높은 설명력을 확인할 수 있었다.



5.2 모형 검증

연구대상 고속도로의 기본구간에 대해 통행시간 및 지체모형의 유효성을 검증하기 위해 모형구축에 사용되지 않은 나머지 1주간의 VDS자료를 중심으로 검증을 실시하였으며, 모형검증을 위해 추정된 통행시간 및 지체와 산정된 통행시간 및 지체 사이에 아래와 같이 각각 상관관계분석과 대응표본 t-검정 (Test)을 실시하였다.

i) 통행시간의 모형검증을 위해

$$\text{상관관계분석 } r = \frac{Cov(T_{cal}, T_{pre})}{\sqrt{Var(T_{cal})} \times \sqrt{Var(T_{pre})}} \quad (5.5)$$

여기에서,

r : correlation coefficient

T_{cal} : mean travel time calculated(sec)

T_{pre} : mean travel time predicted(sec)

$$\text{대응표본 t-검정 } t_s = \frac{\overline{d_T}}{\frac{s_{Td}}{\sqrt{m}}} \quad (5.6)$$

$$\overline{d_T} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m d_{Ti} \quad (5.7)$$

$$d_{Ti} = (T_{cal})_i - (T_{pre})_i \quad (5.8)$$

$$s_{Td} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (d_{Ti} - \overline{d_T})^2}{m-1}} \quad (5.9)$$

여기에서,

t_s : t statistic of matched paired samples
 s_{Td} : standard deviation of difference in T_{cal} and T_{pre} (sec)
 m : no. of paired samples
 $\overline{d_T}$: mean of difference in T_{cal} and T_{pre} (sec)
 d_{Ti} : difference in i -th T_{cal} and T_{pre} (sec)

ii) 평균지체의 모형검증을 위해

$$\text{상관관계분석 } r = \frac{\text{Cov}(D_{cal}, D_{pre})}{\sqrt{\text{Var}(D_{cal})} \times \sqrt{\text{Var}(D_{pre})}} \quad (5.10)$$

여기에서,

r : correlation coefficient
 D_{cal} : mean delay calculated(sec)
 D_{pre} : mean delay predicted(sec)

$$\text{대응표본 t-검정 } t_s = \frac{\overline{d_D}}{\frac{s_{Dd}}{\sqrt{m}}} \quad (5.11)$$

$$\overline{d_D} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m d_{Di} \quad (5.12)$$

$$d_{Di} = (D_{cal})_i - (D_{pre})_i \quad (5.13)$$

$$s_{Dd} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (d_{Di} - \overline{d_D})^2}{m-1}} \quad (5.14)$$

여기에서,

t_s : t statistic of matched paired samples

- s_{Dd} : standard deviation of difference in D_{cal} and D_{pre} (sec)
 m : no. of paired samples
 $\overline{d_D}$: mean of difference in D_{cal} and D_{pre} (sec)
 d_{Di} : difference in i -th D_{cal} and D_{pre} (sec)

우선적으로 경부고속도로에 대해 통행시간 및 지체모형의 검증을 위한 상관관계 분석을 실시한 결과, 경부고속도로의 북쪽방향에서 통행시간 및 지체모형의 상관계수가 각각 0.945과 0.963으로 높은 상관성을 보였고, 남쪽방향에서도 통행시간 및 지체모형의 상관계수가 각각 0.919과 0.916으로 역시 높은 상관성을 보였으며, 방향과 관계없이 통행시간 및 지체모형의 상관계수가 각각 0.931과 0.934로 역시 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났다(참조 Table 5.3 그리고 Figures 5.13~5.18).

또한, 경부고속도로에 대해 통행시간 및 지체모형의 검증을 위한 대응표본 t-검정을 실시한 결과, 경부고속도로의 북쪽방향에서 통행시간 및 지체모형의 양측 유의확률 P-value이 각각 0.301과 0.366으로 수락영역에 포함되었고 남쪽방향에서도 통행시간 및 지체모형의 양측 유의확률 P-value이 각각 0.553와 0.828으로 모두 수락영역에 포함되었으며, 방향과 관계없이 통행시간 및 지체모형의 양측 유의확률 P-value이 각각 0.682와 0.513으로 모두 수락영역에 포함되는 것으로 나타났다(참조 Table 5.4 그리고 Figures 5.13~5.18).

Table 5.3 Correlation analysis of travel time and delay models in EX-1

Expressway/Model			Correlation Coefficient(r)
EX-1	NB	<i>T</i> Model	0.945
		<i>D</i> Model	0.963
	SB	<i>T</i> Model	0.919
		<i>D</i> Model	0.916
	NS	<i>T</i> Model	0.931
		<i>D</i> Model	0.934

Table 5.4 t-Test results of travel time and delay models in EX-1

Expressway/Model			t-value	p-value	Result
EX-1	NB	<i>T</i> Model	-1.038	0.301	Accept
		<i>D</i> Model	-0.906	0.366	Accept
	SB	<i>T</i> Model	-0.595	0.553	Accept
		<i>D</i> Model	-0.217	0.828	Accept
	NS	<i>T</i> Model	-0.410	0.682	Accept
		<i>D</i> Model	-0.655	0.513	Accept

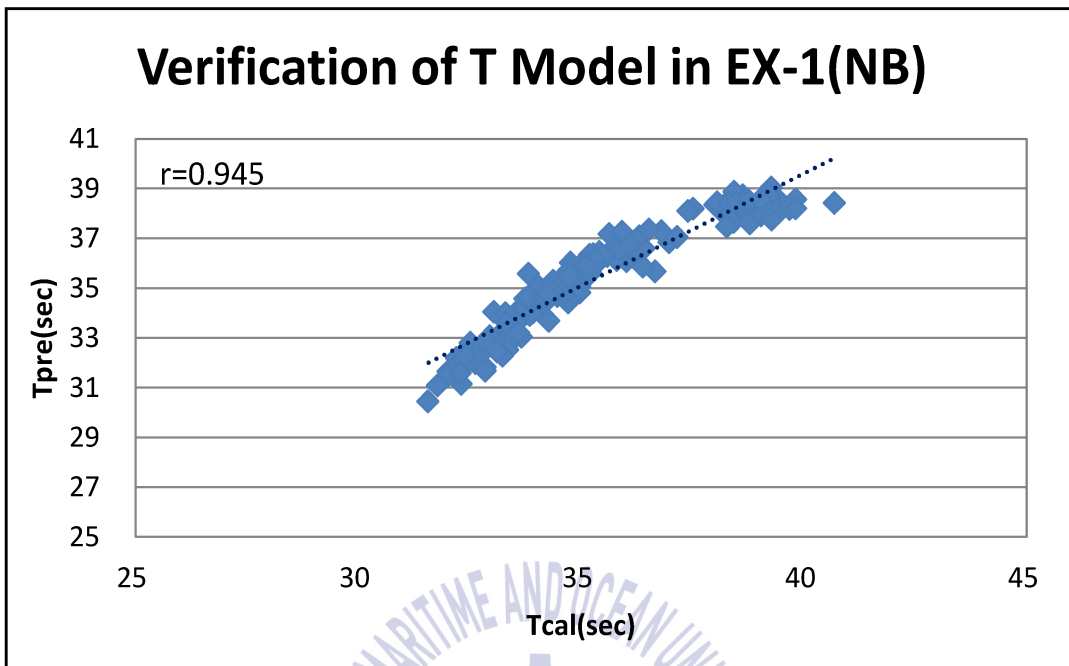


Figure 5.13 Verification of T model in EX-1(NB)

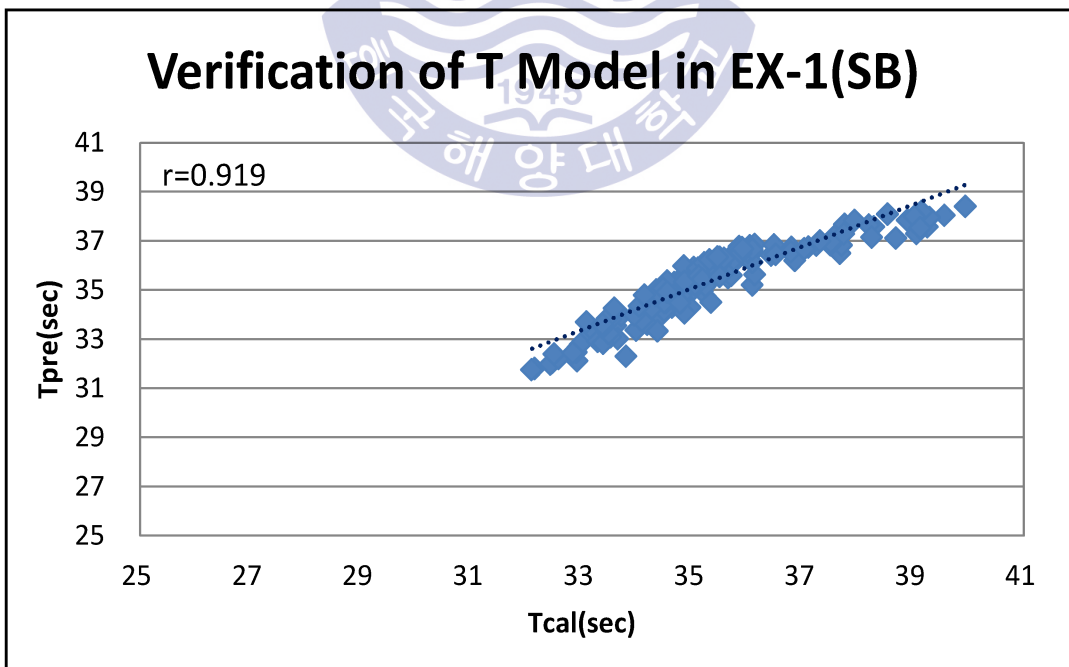


Figure 5.14 Verification of T model in EX-1(SB)

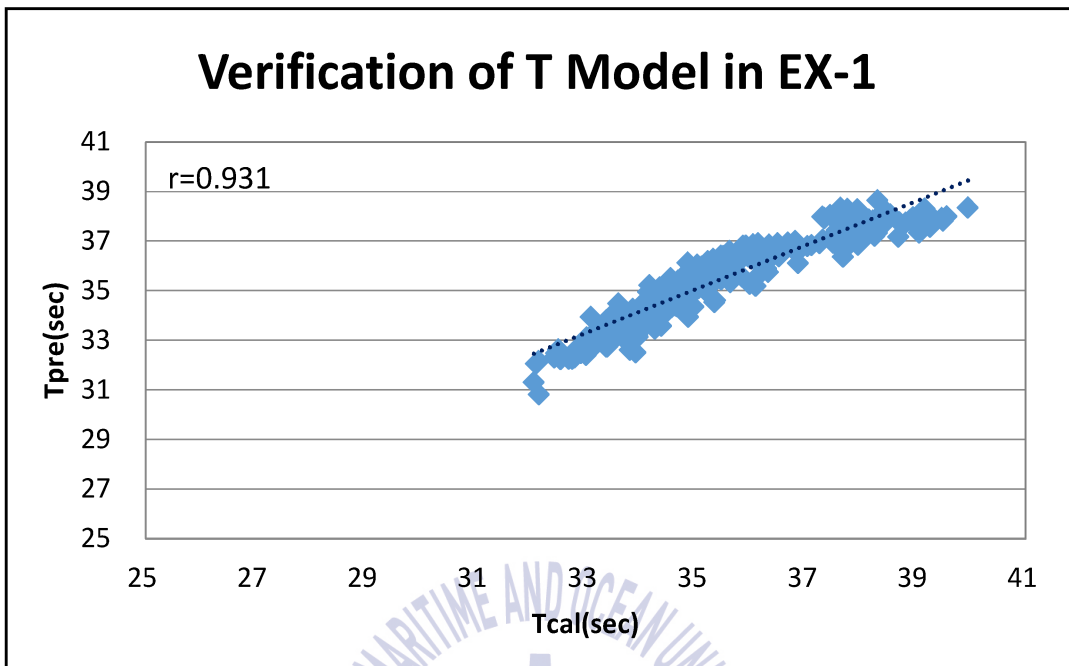


Figure 5.15 Verification of T model in EX-1

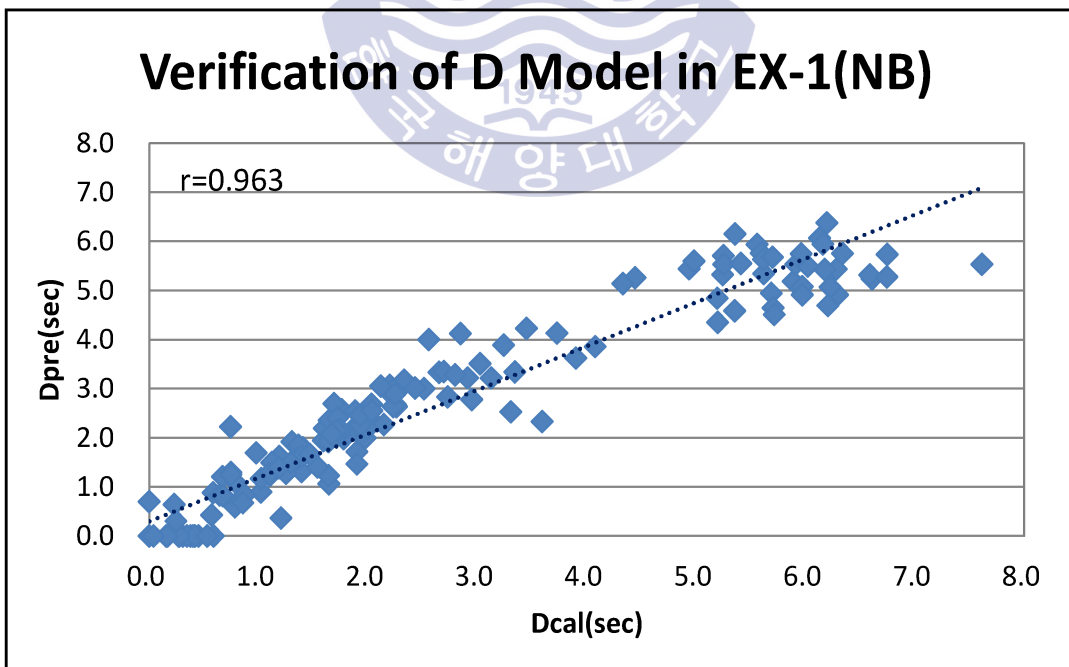


Figure 5.16 Verification of D model in EX-1(NB)

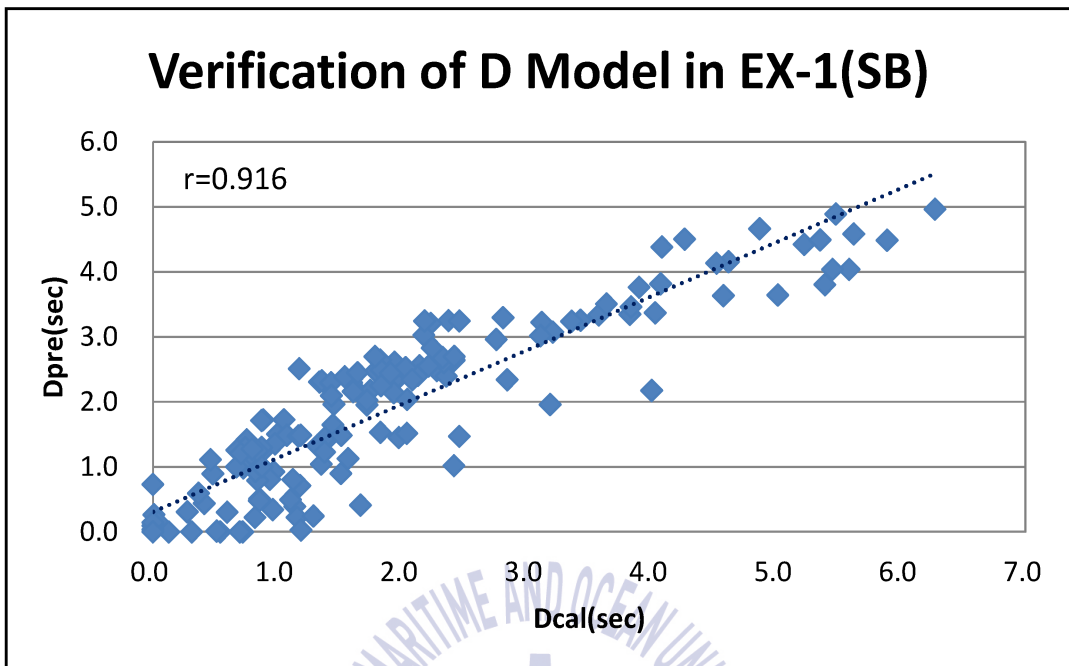


Figure 5.17 Verification of D model in EX-1(SB)

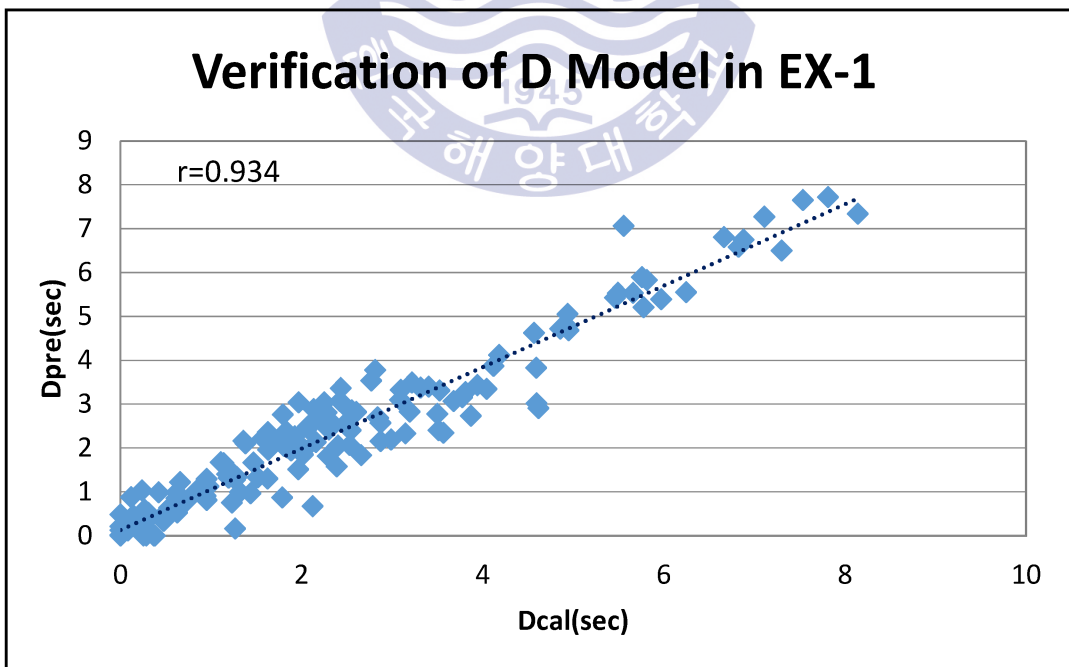


Figure 5.18 Verification of D model in EX-1

다음으로 남해고속도로에 대해 통행시간 및 지체모형의 검증을 위한 상관관계분석을 실시한 결과, 남해고속도로의 동쪽방향에서 통행시간 및 지체모형의 상관계수가 각각 0.964와 0.969로 높은 상관성을 보였고, 서쪽방향에서도 통행시간 및 지체모형의 상관계수가 각각 0.954와 0.953으로 역시 높은 상관성을 보였으며, 방향과 관계없이 통행시간 및 지체모형의 상관계수가 각각 0.960과 0.961로 역시 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났다(참조 Table 5.5 그리고 Figures 5.19~5.24).

또한, 남해고속도로에 대해 통행시간 및 지체모형의 검증을 위한 대응표본 t-검정을 실시한 결과, 남해고속도로의 동쪽방향에서 통행시간 및 지체모형의 양측 유의확률 P-value이 각각 0.274와 0.629로 수락영역에 포함되었고 서쪽방향에서도 통행시간 및 지체모형의 양측 유의확률 P-value이 각각 0.176과 0.635로 모두 수락영역에 포함되었으며, 방향과 관계없이 통행시간 및 지체모형의 양측 유의확률 P-value이 각각 0.785와 0.906으로 모두 수락영역에 포함되는 것으로 나타났다(참조 Table 5.6 그리고 Figures 5.19~5.24).

Table 5.5 Correlation analysis of travel time and delay models in EX-10

Expressway/Model			Correlation Coefficient(r)
EX-10	EB	<i>T</i> Model	0.964
		<i>D</i> Model	0.969
	WB	<i>T</i> Model	0.954
		<i>D</i> Model	0.953
	EW	<i>T</i> Model	0.960
		<i>D</i> Model	0.961

Table 5.6 t-Test results of travel time and delay models in EX-10

Expressway/Model			t-value	p-value	Result
EX-10	EB	T Model	-1.098	0.274	Accept
		D Model	0.484	0.629	Accept
	WB	T Model	-1.358	0.176	Accept
		D Model	-0.476	0.635	Accept
	EW	T Model	-0.274	0.785	Accept
		D Model	-0.119	0.906	Accept

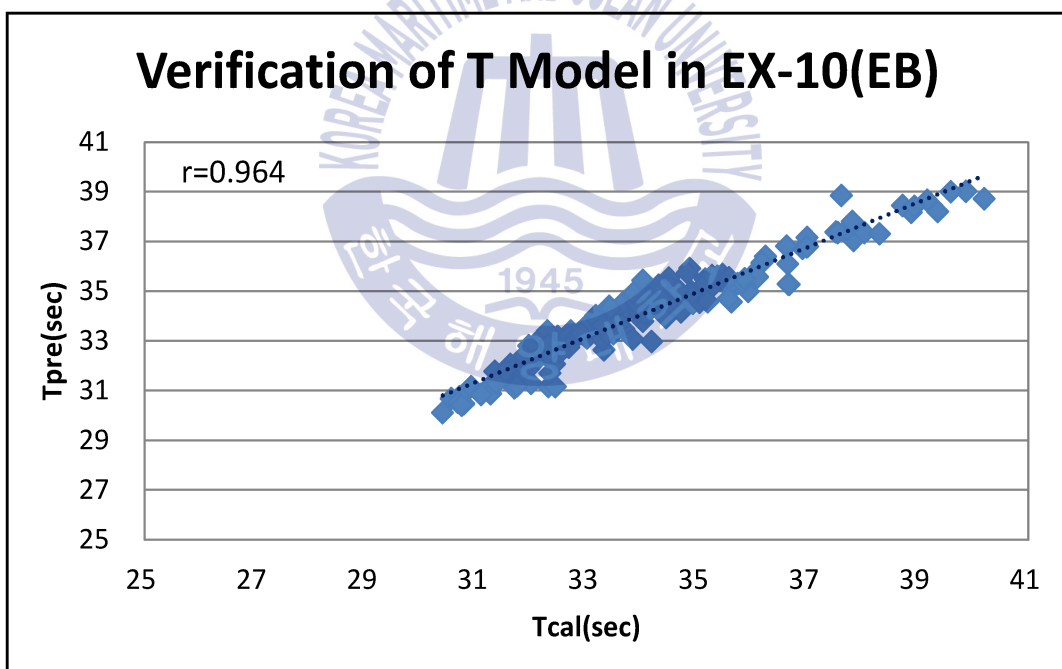


Figure 5.19 Verification of T model in EX-10(EB)

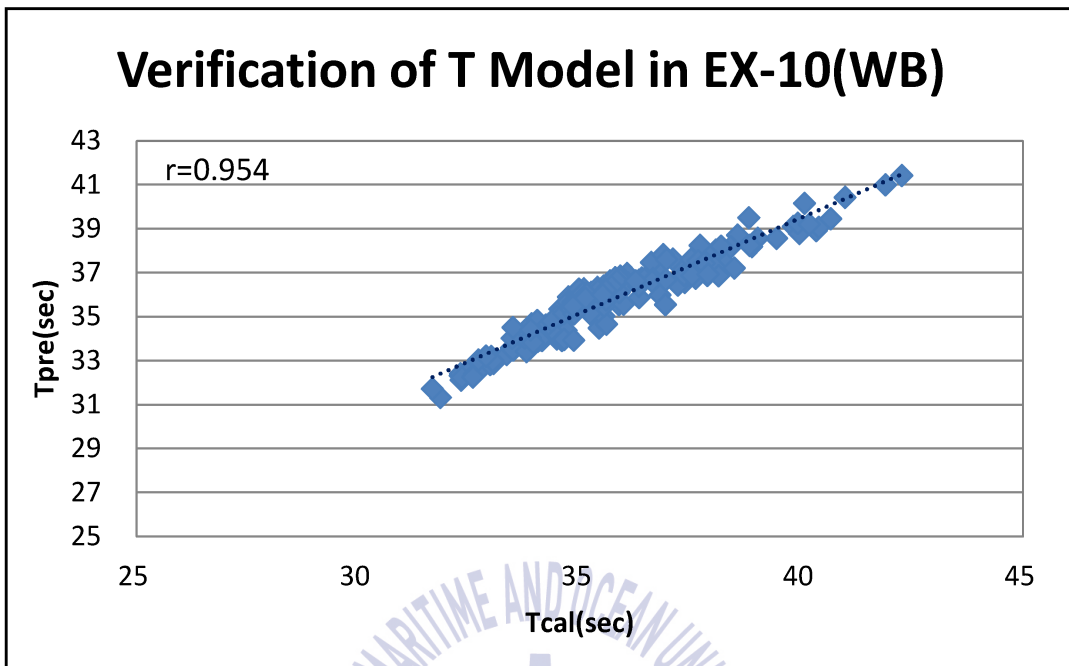


Figure 5.20 Verification of T model in EX-10(WB)

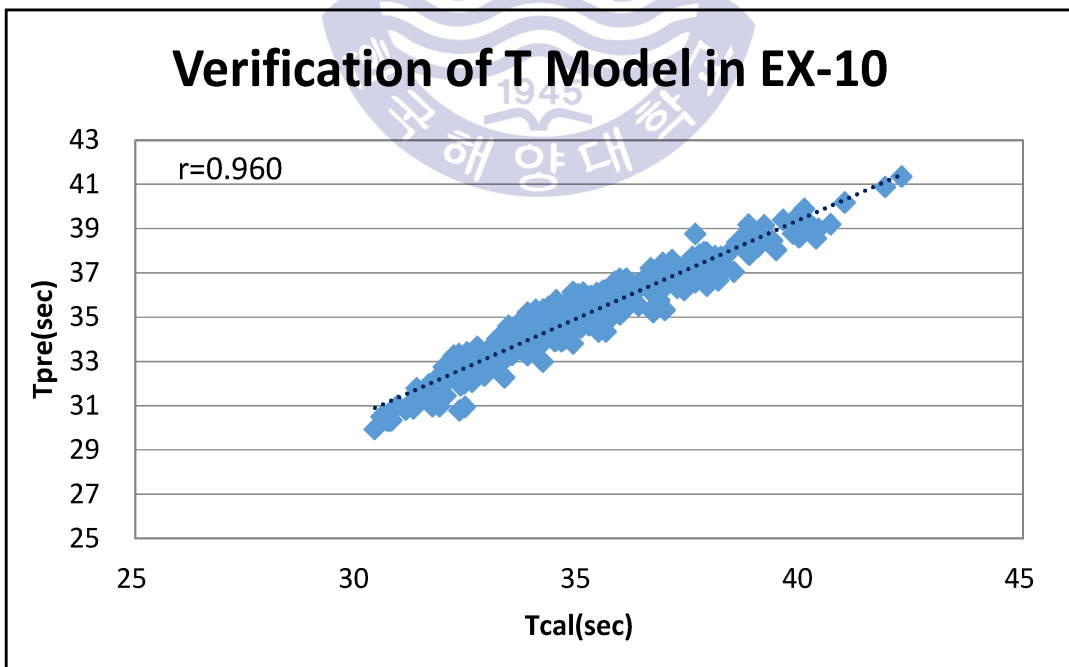


Figure 5.21 Verification of T model in EX-10

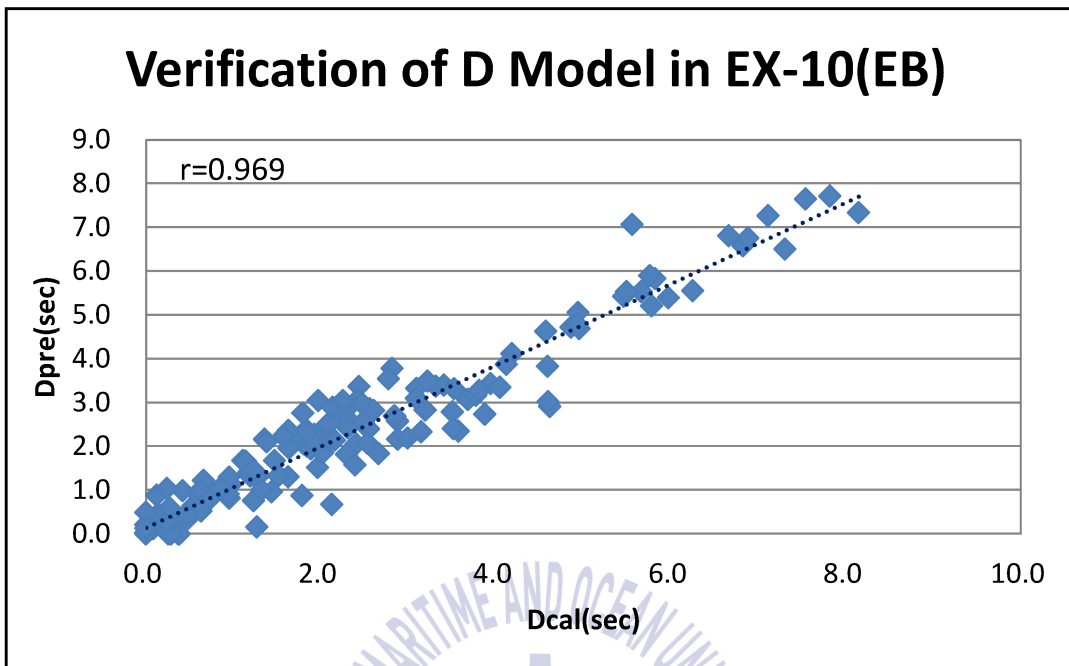


Figure 5.22 Verification of D model in EX-10(EB)

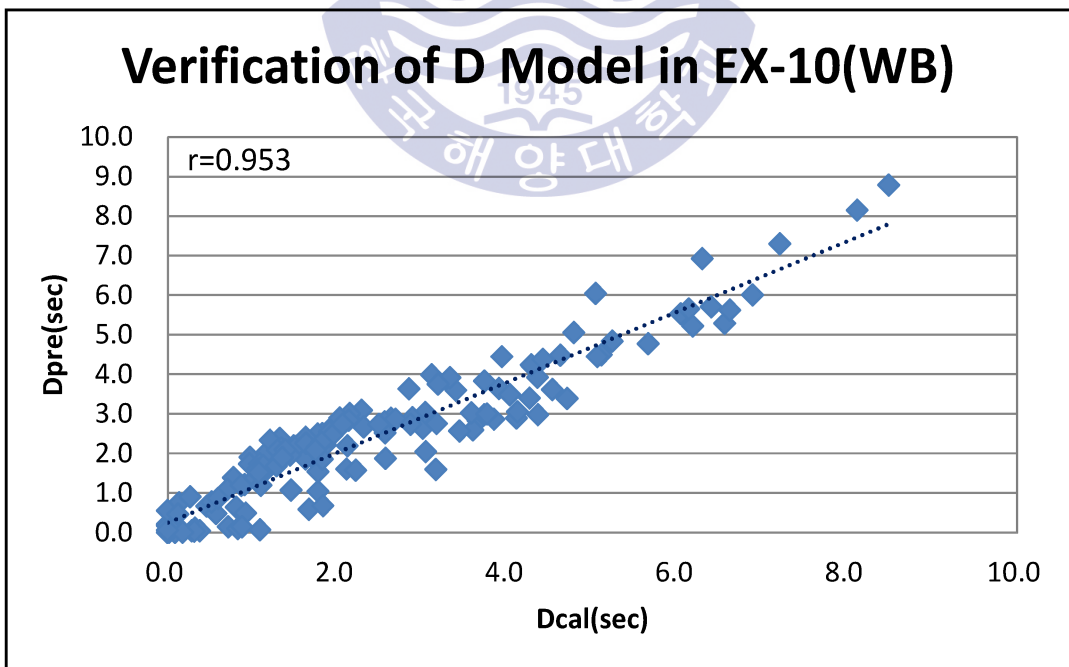


Figure 5.23 Verification of D model in EX-10(WB)

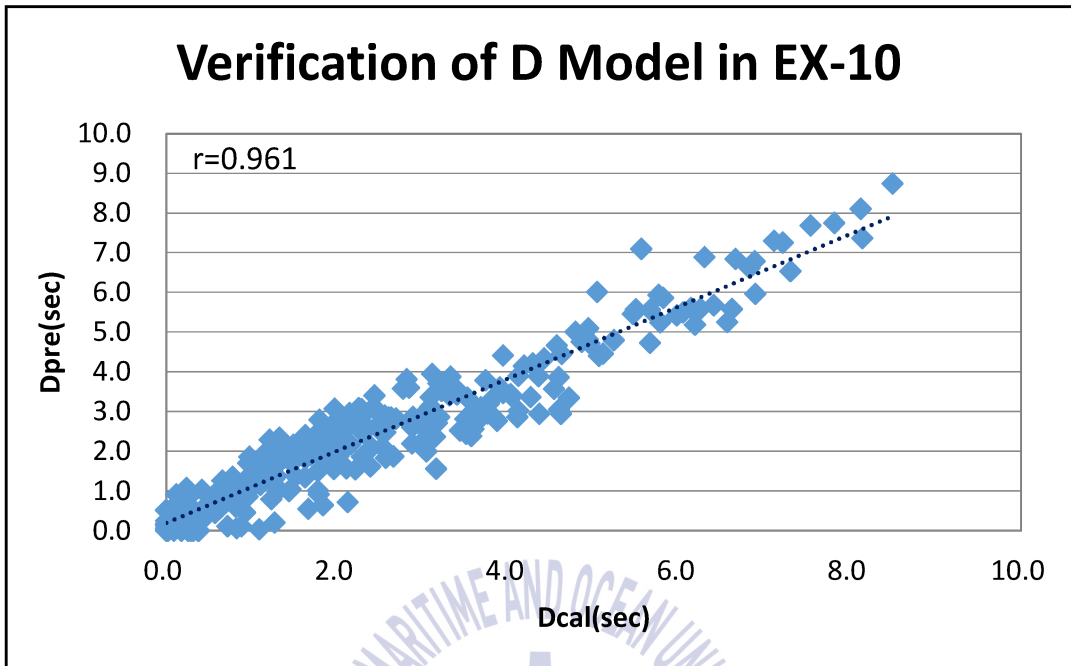


Figure 5.24 Verification of D model in EX-10

결과적으로 방향에 관계없이 8차로 고속도로에서는 2, 3차로 차로별 속도와 통행시간사이의 다중선형회귀모형에서 높은 설명력과 유의성이 확인되었고, 또한 3차로의 차로별 지체와 평균지체사이의 단순선형회귀모형에서도 역시 높은 설명력과 유의성이 확인됨으로써 8차로 고속도로의 평균 통행시간 및 지체를 추정하기 위해 선형회귀모형이 가장 부합된다고 생각하였다.

6장 결론 및 향후 연구과제

이 장에서는 1장부터 5장까지의 연구결과를 토대로 결론 및 향후 연구과제에 대하여 기술한다.

6.1 결론

지정차로제가 시행중인 연구대상 고속도로의 8차로구간 내 차로별 통행특성 분석을 실시하였고, 차로별 통행특성을 기준으로 각각 통행시간 및 지체의 상관분석을 실시하였으며, 상관분석결과를 토대로 모형 구축/검증한 결과 아래와 같은 결론에 도달할 수 있었다.

- i) 지정차로제가 시행중인 고속도로의 8차로구간에서 효율성을 극대화하기 위해서는 방향별 요일별 시간별 차로별 통행특성에 기초한 첨단 여행자 정보체계(ATIS)와 첨단 여행자 관리체계(ATMS)를 포함한 고속도로 교통관리체계(FTMS)를 구축할 때 보다 효과적인 것으로 판단된다.
- ii) 지정차로제가 시행중인 고속도로의 8차로구간에서 통행시간은 방향에 관계없이 중형차로인 3차로의 속도(U_3)와 가장 높은 음(-)의 상관관계를 보였기 때문에 중형차로의 속도를 중심으로 통행시간모형을 구축할 때 보다 효과적인 것으로 판단된다.
- iii) 지정차로제가 시행중인 고속도로의 8차로구간에서 통행시간모형은 방향에 관계없이 중·소형차로인 3차로와 2차로의 속도(U_3, U_2)를 중심으로 다중선형회귀모형을 구축할 때 높은 결정력(R^2)과 유의성(P-value)을 보였기 때문에 통행시간(T_T)의 추정에 보다 효과적인 것으로 판단된다.
- iv) 지정차로제가 시행중인 고속도로의 8차로구간에서 평균지체는 방향에 관계없이 중형차로인 3차로의 지체(D_3)를 중심으로 적용하기 쉬운 단순선

형회귀모형을 구축할 때 높은 결정력(R^2)과 유의성(P-value)을 보였기 때문에 평균지체(D_T)의 추정에 보다 효과적일 것으로 판단된다.

- v) 지정차로제가 시행중인 고속도로의 6차로나 4차로구간에서도 통행시간 추정을 위해서는 중·소형차로의 속도와 함께 다중선형회귀모형을 이용하고 평균지체 추정을 위해서 중형차로의 지체와 함께 단순선형회귀모형을 이용할 경우 높은 설명력과 유의성을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

이 연구를 통한 기대효과는 아래와 같았다.

- i) 지정차로제가 시행중인 고속도로의 기본구간에서 통행특성이 방향별 요일별 시간별 차로별로 뚜렷한 차이를 보이고 있기 때문에 첨단 여행자 정보체계(ATIS) 및 첨단 여행자 관리체계(ATMS)를 포함한 고속도로 교통관리체계(FTMS)에 방향별 요일별 시간별 차로별 통행특성을 반영한다면 실시간의 여행자 자료구축 및 특성분석효과를 기대할 수 있다.
- ii) 지정차로제가 시행중인 고속도로 이용자가 목적지에 도착하는데 요구되는 실시간의 통행시간정보를 미리 예상할 수 있도록 예상통행시간을 가변정보표지판(variable message signs, VMS)과 같은 예보시스템을 통해 미리 제공한다면 고속도로 이용자가 여행계획에 참고할 수 있으므로 고속도로의 통행량 분산과 지체감소의 효과를 기대할 수 있다.
- iii) 지정차로제가 시행중인 고속도로 및 간선도로 이용자가 예상통행시간 내에 목적지에 도착할 수 있도록 실시간의 노선안내체계(route guidance system, RGS)을 내비게이션이나 가변정보표지판으로 제공한다면 여행계획을 수립할 때 미리 참고할 수 있으므로 고속도로 및 간선도로의 통행량 분산과 지체감소의 효과를 기대할 수 있다.

6.2 향후 연구과제

이 연구는 지정차로제가 시행중인 고속도로의 8차로구간을 대상으로 차로별 통행특성을 산정하여 구간통행시간 및 평균지체의 추정연구로서 여기에서 제시한 모형을 활용하여 유사한 기하구조와 통행특성을 가지는 고속도로에 대한 통행시간 및 지체를 추정하기 위해서는 아래와 같은 연구가 추가적으로 필요할 것으로 생각되었다.

- i) 지정차로제가 시행중인 연구대상 고속도로는 8차로구간에서 구축된 모형이므로 통행시간 및 지체모형의 일반화를 위해서는 고속도로의 다양한 차로구간에 대해서도 자료를 추가적으로 수집하여 보다 현실성 있는 통행시간 및 지체모형을 구축해야 할 것으로 생각된다.
- ii) 차로별 지점자료를 토대로 통행시간 및 지체모형의 구축/검증을 수행하였지만, 고속도로의 차로별 구간관측이 가능한 차량 자동인식체계(AVI) 및 단거리 전용통신체계(dedicated short range communication, DSRC) 등 구간관측 자료가 통행시간 및 지체모형의 구축/검증에 사용한다면 보다 신뢰도를 높일 수 있을 것으로 생각된다.
- iii) 지정차로제가 시행중인 고속도로의 특정구간이나 특정기간에 통행특성자료를 확보하여 특정구간이나 특정기간의 통행시간 및 지체모형이 추가적으로 구축한다면 고속도로 이용의 보다 신뢰성 있는 교통예보를 통해 정시성 확보 및 통행량 분산에도 상당한 효과가 있을 것으로 생각된다.
- iv) 지정차로제가 시행중인 고속도로의 이용차량이 증가하고 중대형차량의 비율이 높을수록 차량상충으로 인한 통행시간 및 지체에는 변화가 많을 것으로 예상되므로 통행시간 및 지체에 따른 비용 산정 및 그 파급효과에 대한 연구도 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

국토해양부, 2012. 도로설계기준.

국토해양부, 2013. 도로용량편람.

김태곤, 정유나, 파디 하수나(2010), 차로별 특성을 고려한 도시고속도로의 지체추정에 관한 연구. *대한토목학회논문집*, 30(5D), pp. 467~476.

김정수(2012), 다차로 고속도로의 동적 병목구간 지체시간 산정 모형 개발, 한국항공대학교 대학원

오세창, 김명하, 백용현, 2003, 차량검지기 교통량 데이터를 이용한 고속도로 통행시간 추정 및 예측모형 개발에 관한 연구. *대한교통학회 논문집*, 21(5), pp.83~95.

이의은, 김정현, 2002, 시간차집현상을 고려한 장거리구간 통행시간 예측 모형 개발. *대한교통학회 논문집*, 20(4), pp. 51~61.

김성현, 임강원, 이영인, 2005, 일반국도의 지점 및 구간검지기 자료의 융합을 통한 통행시간 추정 알고리즘 개발. *대한교통학회 논문집*, 23(5), pp. 135~246.

장진환, 백남철, 김성현, 변상철, 2004, AVI 자료를 이용한 동적 통행시간 예측. *대한교통학회 논문집*, 22(7), pp. 169~175.

유소영, 노정현, 박동주, 2004, 통행시간 추정 및 예측을 위한 루프검지기 자료의 최적 집계간격 결정. *대한교통학회 논문집*, 22(6), pp. 109~119.

김영찬, 김태용, 2001, 검지자료합성을 통한 도시간선도로 실시간 통행시간 추정모형. *대한교통학회 논문집*, 19(6), pp. 171~182.

권미현(2015), 고속도로의 통행시간 신뢰성을 고려한 추가통행시간 추정에 관한 연구, 한국해양대학교 대학원.

정유나(2015), 통행시간 신뢰성을 고려한 고속도로의 계획통행시간 예측모형

구축에 관한 연구, 한국해양대학교 대학원.

FHWA, 1998. *Travel Time Data Collection Handbook*. US Department of Transportation Federal Highway Administration, Washington, D.C.

NCHRP, 2008. *Cost-Effective Performance Measures for Travel Time Delay, Variation, and Reliability*. National Cooperative Highway Research Program(NCHRP), Report 618, Transportation Research board(TRB).

SHRP2, 2014. *Identification and Evaluation of the Cost-Effectiveness of Highway Design Features to Reduce Nonrecurrent Congestion*. Strategic Highway Research Program(SHRP), Report S2-L07-RR-1, Transportation Research board(TRB).

Garber, N. J., Hoel, L. A., 1988. *Traffic and Highway Engineering*. West Publishing Company, St. Paul, MN 55164-1003.

Gerlough, D. L., Huber, M. J., 1975. *Traffic Flow Theory*. A Monograph, TRB Special Report 165, Transportation Research Board; Washington, D.C.

Homburger, W. S., Kell, J. H., 1989. *Fundamentals of Traffic Engineering*. 12th ed., Course Notes, Institute of Transportation Studies. University of California at Berkeley.

McShane, W. R., Roess, R. P., Prassas, E. S., 1998, *Traffic Engineering*. 2nd ed., Prentice Hall, Upper Saddle River; New Jersey.

May, A. D., 1990. *Traffic Flow Fundamentals*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632.

감사의 글

논어 위정(爲政)편에 이르기를 삼십이립(立), 사십불혹(不惑), 오십지천명(知天命), 육십이순(耳順), 칠십중심소욕(從心所欲)이라 하였습니다. 교통부문에 종사하여 기술자로서 인생관이 확립되는 불혹의 나이에 이르렀고, 앞으로의 부족함을 메우고 원숙한 기술자 및 지역사회 구성원이 되기 위해 박사과정에 진학하여 소중한 결실을 맺게 되었습니다. 이에 논문이 끝나기 까지 부족한 저에게 많은 격려와 도움을 주신 소중한 지인들께 감사의 인사를 전하고 합니다.

무엇보다도 부족한 제자에게 아낌없는 사랑과 열정으로 논문을 지도편달 해주신 김태곤 교수님과 항상 따뜻한 말로 격려해주신 사모님께 진심으로 감사드립니다. 또 직접 심사를 맡으셔서 여러 조언을 해 주신 이중우 교수님, 김도삼 교수님, 경갑수 교수님과, 경성대학교 신강원 교수님께도 감사드립니다.

항상 주변에서 격려해주시는 주철선배님과 현철선배님, 광식선배님, 은진선배님, 인영선배님, 동수선배님, 승길선배님, 진풍선배님 든든하고 믿음직한 연구실 후배들 종진, 미현, 연우, 소연, 재현, 호성, 인호, 태중에게도 감사를 전합니다.

또한, 바쁜 일상에도 불구하고 독려와 배려해 주신 이탁수 사장님과 박진우 전무님, 부족한 고참 이지만 묵묵하게 따라준 울산사무실의 상민, 청민, 진현, 나희, 논문편집에 도움을 준 배성 그리고 힘들 때마다 내편이 되어준 막내누님과 매형, 처갓집 가족들에게도 이 지면으로나마 감사를 전합니다.

무엇보다도 항상 곁에서 훌륭한 인품과 내조로 내 인생의 중심을 잡아준 사랑하는 아내 이창희님에게 진심으로 고마움을 전하며, 논문이 끝나기만을 기다려 준 사랑하는 딸 지영, 아들 승민에게도 미안함과 고마움을 전합니다.

마지막으로 끝없는 사랑과 희생으로 한평생 아들을 위하여 고생하신 어머님에게 진심으로 감사드리고, 항상 저의 가슴속에 누구보다도 흠상하는 존재이신 아버님 영전에 이 논문을 바치고자 합니다.

2016년 2월